

21389/41/05



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERANCANGAN STRUKTUR TOWER GEDUNG PERKANTORAN PT. HALIM SAKTI SURABAYA DENGAN METODA PRACETAK MEMAKAI BUILDING FRAME SYSTEM DAN SHEAR WALL

Oleh :

AGUS SETIABUDI
3101 109 620

RSS
690.523
Set
m-1
2004



| PERPUSTAKAAN ITS | |
|---------------------|-----------|
| Tgl. Terima | 11-8-2004 |
| Terima dari | H |
| No. Agenda Prp. | 721171 |

PROGRAM SARJANA (S-1)
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004

TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI PERANCANGAN STRUKTUR
TOWER GEDUNG PERKANTORAN PT. HALIM SAKTI
SURABAYA DENGAN METODA PRACETAK MEMAKAI
BUILDING FRAME SYSTEM DAN SHEAR WALL**

SURABAYA, JUNI 2004

MENGETAHUI/MENYETUJUI

DOSEN PEMBIMBING



Ir. KURDIAN SUPRAPTO, MS

NIP. 130 532 020

**PROGRAM SARJANA (S-1)
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004**

**MODIFIKASI PERANCANGAN STRUKTUR TOWER
GEDUNG PERKANTORAN PT. HALIM SAKTI SURABAYA
DENGAN METODA PRACETAK MEMAKAI
BUILDING FRAME SYSTEM DAN SHEAR WALL**

Oleh :

Agus Setiabudi

3101.109.620

Dosen Pembimbing :

Ir. Kurdian Suprpto, MS.

ABSTRAK

Metode penyelesaian struktur saat ini makin berkembang dalam usaha memenuhi kebutuhan untuk efisiensi dan efektifitas, dimana masing – masing metode memiliki keunggulan tersendiri. Dalam tugas akhir ini metode pracetak digunakan dengan tujuan kemungkinan digunakannya metode tersebut dalam penyelesaian struktur.

Dalam perancangan Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya ini, sistem pemodelan struktur yang digunakan adalah Building Frame System, yaitu memanfaatkan pengaku lateral untuk menahan beban lateral seperti gempa sedangkan frame hanya memikul beban vertikal/gravitasi saja.

Perhitungan beban lateral yaitu beban gempa dalam perencana ini menggunakan peraturan *UBC 1997*, untuk perhitungan gaya – gaya akibat pengangkatan mengikuti tata cara perhitungan yang ada dalam *PCI Design Handbook*, sedangkan perhitungan tulangan aksial, lentur dan geser elemen pracetak mengikuti ketentuan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03).

Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya terdiri 8 lantai dengan tinggi total 32 m, berfungsi sebagai gedung perkantoran direncanakan pracetak pada elemen balok dan pelat, sedangkan elemen kolom, tangga menggunakan cor setempat

Hasil perencanaan gedung ini dituangkan dalam gambar.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kemampuan sekaligus semangat dalam menyertai dari awal penulisan tugas akhir ini sampai penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sesuai harapan.

Penulisan tugas akhir ini yang berjudul * Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Tower Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya Dengan Metoda Pracetak Menggunakan Building Frame Sistem dan Shear Wall * dibuat sebagai persyaratan utama kelulusan mahasiswa Strata 1 (S-1) sesuai dengan kurikulum yang berlaku di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Disamping itu, penulisan tugas akhir ini diharapkan mampu menambah sekaligus meningkatkan pengetahuan serta wawasan penulis dalam menyerap ilmu sipil tertama dalam ilmu konstruksi beton pracetak.

Penulis menyadari masih banyak kelemahan serta kekurangan yang dimiliki penulis sehingga saran, pesan, kritikan serta koreksi diharapkan penulis dapat membangun untuk perbaikan selanjutnya.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak sekali pihak turut membantu penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Untuk itu pihak penulis mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Noor Endah, MSc. PhD. selaku Pembantu Rektor ITS.
2. Bapak Ir. Indra Surya B. Mochtar, MSc. PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS.
3. Ibu Ir. Ervina Ahyudanari, M. Eng selaku Ketua Program Bidang Studi Teknik Sipil FTSP – ITS.
4. Bapak Ir Kurdian Suprpto, MS. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir
5. Bapak Ir. Chomaedi, CES. GeO selaku Dosen Wali.
6. Segenap Dosen dan Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS.
7. Keluarga di Tuban, Ibu, Bapak, Mbak Ika, Mas Den, Emak yang telah banyak memberikan semangat dan doa serta bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

8. Teman – teman, Doni, Polin, Temi, Kris, Arif, teman kosku serta Adikku Unky.
9. Teman – teman dan pihak – pihak lain yang turut membantu penyelesaian tugas akhir ini.

Dengan tersusunnya tugas akhir ini penulis berharap agar dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dalam menggali ilmu pengetahuan yang semakin berkembang serta untuk Civitas Akademika Teknik Sipil ITS Surabaya.

Surabaya, Juni 2004

Penulis

| | |
|---|---------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| ABSTRAK | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | |
| 1.2 Maksud dan Tujuan | I – 1 |
| 1.3 Lingkup Permasalahan | I – 1 |
| 1.4 Batasan Masalah | I – 1 |
| 1.5 Tinjauan Pustaka | I – 2 |
| 1.6 Metodologi | I – 3 |
| BAB II DASAR PERENCANAAN | |
| 2.1 Umum | II – 1 |
| 2.2 Data Bangunan | II – 1 |
| 2.3 Data Tanah | II – 2 |
| 2.4 Pembebanan | II – 2 |
| 2.4.1 Definisi Pembebanan | II – 2 |
| 2.5 Asumsi Dan Analisa | II – 3 |
| 2.5.1 Asumsi | II – 3 |
| 2.5.2 Metoda Analisa | II – 4 |
| BAB III PENGANTAR BETON PRACETAK | |
| 3.1 Definisi Beton Pracetak | III – 1 |
| 3.2 Industri Beton Pracetak | III – 1 |
| 3.2.1 Pabrikasi yang Bersifat Permanen | III – 1 |
| 3.2.2 Transportasi Elemen Pracetak | III – 2 |
| 3.4 Pemasangan Elemen Pracetak | III – 2 |
| 3.4.1 Site Plan | III – 3 |
| 3.4.2 Peralatan | III – 3 |
| 3.4.3 Siklus Pemasangan Elemen Pracetak | III – 3 |
| 3.4.4 Tenaga Kerja | III – 3 |
| 3.5 Beberapa Typikal Pracetak | III – 4 |
| 3.5.1 Pelat. | III – 4 |



9911 18 14 0000
INSTRUKSI TRANSMISI
SEPULUH – NOPEMBER

| | |
|---|---------|
| 3.5.2 Balok | III – 4 |
| 3.6 Keuntungan Beton Pracetak | III – 4 |
| 4.7 Aplikasi Sistem Pracetak Pada Gedung | III – 6 |
| BAB IV PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER | |
| 4.1 Pendahuluan | IV – 1 |
| 4.1.1 Preliminary Design | IV – 1 |
| 4.1.2 Analisa Struktur | IV – 2 |
| 4.1.3 Perencanaan Pembebanan Pelat | IV – 2 |
| 4.1.3.1 Perencanaan Pembebanan Pelat Lantai | IV – 2 |
| 4.1.3.2 Perencanaan Pembebanan Pelat Atap | IV – 3 |
| 4.1.4 Kombinasi Pembebanan | IV – 4 |
| 4.1.5 Perencanaan Pelat | IV – 4 |
| 4.1.5.1 Penentuan Tebal Pelat | IV – 4 |
| 4.1.5.2 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai | IV – 7 |
| 4.1.5.3 Penulangan Sebelum Komposit | IV – 8 |
| 4.1.5.4 Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan | IV – 12 |
| 4.1.5.5 Penulangan Sesudah Komposit | IV – 14 |
| 4.1.5.6 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai | IV – 17 |
| 4.1.5.7 Penulangan Stud Pelat Lantai | IV – 17 |
| 4.1.7 Kontrol Retak | IV – 19 |
| 4.1.8 Panjang Penyaluran | IV – 20 |
| 4.1.9 Kontrol Tegangan Pelat | IV – 20 |
| 4.2 Perencanaan Balok Anak | IV – 22 |
| 4.2.1 Mekanika Beban | IV – 22 |
| 4.2.2 Perhitungan Momen | IV – 25 |
| 4.2.2.1 Perhitungan Momen Sebelum Komposit | IV – 26 |
| 4.2.2.2 Perhitungan Momen Sesudah Komposit | IV – 27 |
| 4.2.3 Perhitungan Tulangan Geser | IV – 29 |
| 4.2.3.1 Tulangan Geser Sebelum Komposit | IV – 30 |
| 4.2.3.2 Tulangan Geser Sesudah Komposit | IV – 30 |
| 4.3 Perencanaan Tangga | IV – 31 |
| 4.3.1 Pembebanan Tangga dan Bordes | IV – 33 |

| | |
|---|---------|
| 4.3.2 Analisa Gaya – gaya dalam | IV – 33 |
| 4.3.3 Penulangan Lentur Tangga | IV – 37 |
| 4.3.4 Penulangan Geser Tangga | IV – 39 |
| BAB V ANALISA STRUKTUR UTAMA | |
| 5.1 Umum | V – 1 |
| 5.2 Data – data Perencanaan | V – 1 |
| 5.3 Perhitungan Pembebanan Vertikal | V – 2 |
| 5.4 Perhitungan Gaya Horisontal | V – 2 |
| 5.4.1 Perhitungan Berat Total Atap | V – 2 |
| 5.4.2 Perhitungan Berat Total Lantai | V – 4 |
| 5.5 Perhitungan Gaya Geser Dasar | V – 6 |
| 5.5.1 Perhitungan Gaya Geser Dasar Tiap Lantai | V – 8 |
| 5.6 Perhitungan Analisa Gempa Dinamis | V – 9 |
| 5.7 Pemodelan Struktur | V – 11 |
| 5.8 Kombinasi Pembebanan | V – 13 |
| 5.9 Kontrol Periode Getar Alami Struktur | V – 15 |
| 5.9.1 Kontrol Gaya Gempa Dinamis | V – 16 |
| 5.9.1.1 Kontrol Partisipasi Massa Pada Struktur | V – 16 |
| 5.9.1.2 Kontrol Gaya Geser Dasar | V – 16 |
| 5.10 Kontrol Drift Antar Tingkat | V – 16 |
| BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA | |
| 6.1 Pendahuluan | VI – 1 |
| 6.2 Perencanaan Balok Induk | VI – 1 |
| 6.2.1 Penulangan Balok NLFRS | VI – 1 |
| 6.2.1.1 Penulangan Lentur Sebelum Komposit | VI – 2 |
| 6.2.1.2 Penulangan Sebelum Komposit | VI – 5 |
| 6.2.1.3 Penulangan Sesudah Komposit | VI – 8 |
| 6.2.1.4 Penulangan Akhir | VI – 9 |
| 6.2.2 Penulangan Geser Dan Torsi | VI – 11 |
| 6.2.3 Penulangan Stud Balok Induk | VI – 14 |
| 6.2.4 Panjang Penyaluran | VI – 15 |
| 6.2.5 Kontrol Lendutan | VI – 16 |
| 6.2.6 Kontrol Retak | VI – 17 |

| | |
|--|----------|
| 6.3 Perencanaan Kolom | VI – 18 |
| 6.3.1 Kontrol Dengan Bressler Reciprocal Method | VI – 20 |
| 6.4 Perencanaan Dinding Geser | VI – 23 |
| 6.4.1 Dasar Teori | VI – 23 |
| 6.4.2 Kuat Beban Aksial Rancang | VI – 23 |
| 6.4.3 Perencanaan Geser | VI – 23 |
| 6.4.3.1 Ketentuan Perencanaan Dinding Geser | VI – 24 |
| 6.4.3.2 Ketentuan Perencanaan Untuk Struktur Dengan Tingkat Daktilitas | VI – 25 |
| 6.4.4 Data – data Perencanaan | VI – 26 |
| 6.4.5 Dasar – Dasar Perencanaan | VI – 26 |
| 6.4.6 Kontrol Komponen Pembatas | VI – 27 |
| 6.4.7 Cek Kekuatan ShearWall | VI – 29 |
| 6.4.8 Penulangan Lentur Pada ShearWall | VI – 29 |
| 6.4.9 Penulangan Geser Vertikal | VI – 30 |
| 6.4.10 Penulangan Geser Horisontal | VI – 31 |
| BAB VII PERENCANAAN SAMBUNGAN | |
| 7.1 Umum | VII – 1 |
| 7.2 Kriteria Perencanaan Sambungan | VII – 2 |
| 7.2.1 Kekuatan | VII – 2 |
| 7.2.2 Daktilitas | VII – 2 |
| 7.2.3 Perubahan Volume | VII – 2 |
| 7.2.4 Keawetan | VII – 3 |
| 7.2.5 Ketahanan Terhadap Kebakaran | VII – 3 |
| 7.2.6 Kesederhanaan Sambungan | VII – 3 |
| 7.2.7 Kesederhanaan Pemasangan | VII – 4 |
| 7.3 Konsep Desain Sambungan | VII – 4 |
| 7.3.1 Mekanisme Pemindahan Beban | VII – 4 |
| 7.3.2 Pola – Pola Kehancuran | VII – 5 |
| 7.3.3 Stabilitas Dan Keseimbangan | VII – 6 |
| 7.3.4 Klasifikasi Sistem Pracetak Dan Sambungannya | VII – 7 |
| 7.4 Pertimbangan – Pertimbangan Rancangan | VII – 8 |
| 7.5 Penggunaan Topping Beton | VII – 10 |

| | | |
|-------------------------------------|---|-----------|
| 7.6 | Prosedur Desain Sambungan | VII – 11 |
| 7.6.1 | Transfer Gaya Horisontal | VII – 11 |
| 7.6.2 | Perencanaan Sambungan Pelat Diafragma | VII – 13 |
| 7.6.3 | Penulangan Stud/ Geser Balok Induk | VII – 13 |
| 7.6.4 | Bearing On Plain Concrete | VII – 14 |
| 7.6.5 | Penulangan End Bearing | VII – 15 |
| 7.7 | Perhitungan Sambungan | VII – 15 |
| 7.7.1 | Penulangan Stud/ Geser Pelat Diafragma | VII – 15 |
| 7.7.2 | Penulangan Stud/ Geser Balok Induk | VII – 16 |
| 7.8 | Perkuatan Penulangan Ujung Balok | VII – 17 |
| 7.8.1 | Perencanaan Perkuatan Penulangan Konsol Bawah Balok Induk | VII – 19 |
| 7.9 | Sambungan Kolom – Balok | VII – 22 |
| 7.9.1 | Perencanaan Konsol pada Kolom | VII – 22 |
| 7.9.2 | Perencanaan Reinforced Concreted Bearing pada Balok | VII – 25 |
| BAB VIII PERENCANAAN PONDASI | | |
| 8.1 | Perencanaan Pondasi Pada Struktur Utama | VIII – 1 |
| 8.1.1 | Daya Dukung Ting Pancang Tunggal | VIII – 1 |
| 8.1.2 | Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok | VIII – 5 |
| 8.1.3 | Daya Dukung Lateral Tiang Pancang | VIII – 7 |
| 8.1.4 | Perencanaan Poer Pondasi | VIII – 8 |
| 8.1.5 | Perencanaan Sloof Pondasi | VIII – 12 |
| BAB IX PELAKSANAAN | | |
| 9.1 | Umum | IX – 1 |
| 9.2 | Proses Produksi Elemen Beton Pracetak | IX – 1 |
| 9.3 | Penumpukan Elemen Beton Pracetak | IX – 3 |
| 9.4 | Perhitungan Tulangan Angkat Pelat Pracetak | IX – 3 |
| 9.4.1 | Kontrol Tegangan Angkat | IX – 5 |
| 9.5 | Pengangkatan Balok Anak | IX – 7 |
| 9.6 | Pengangkatan Balok Induk | IX – 10 |
| 9.7 | Penempatan Crane | IX – 12 |
| 9.8 | Proses Pemasangan Elemen Pracetak | IX – 13 |
| 9.8.1 | Pekerjaan Tiang Pancang | IX – 14 |

| | |
|---|---------|
| 9.8.2 Pekerjaan Poer | IX – 14 |
| 9.8.3 Pekerjaan Sloof | IX – 14 |
| 9.8.4 Pekerjaan Kolom | IX – 14 |
| 9.8.5 Pemasangan Elemen Balok | IX – 15 |
| 9.8.6 Pekerjaan Tangga | IX – 15 |
| 9.8.7 Pemasangan Elemen Pelat | IX – 15 |
| 9.9 Transportasi Elemen Beton Pracetak | IX – 15 |
| 9.9.1 Sistem Transportasi | IX – 15 |
| 9.9.2 Jadwal Pengangkatan Elemen Beton Pracetak | IX – 16 |

BAB IX PENUTUP

| | |
|-----------------|-------|
| 10.1 Kesimpulan | X – 1 |
| 10.2 Saran | X – 2 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

GAMBAR PERENCANAAN

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pracetak sebagai metode sekaligus material konstruksi yang mulai banyak digunakan. Hal ini disebabkan adanya beberapa keuntungan di dalam pelaksanaannya, seperti waktu pelaksanaan konstruksi yang lebih cepat serta kemudahan dalam pelaksanaannya.

Sebagai material konstruksi, pembuatan pracetak bisa dilakukan di lapangan dengan kontrol kualitas yang terjamin. Sedangkan sebagai metode konstruksi, pracetak bukan lagi sebagai hal yang sulit dilakukan karena jenis dan kemampuan peralatan konstruksi, seperti sarana transportasi dan kemampuan alat – alat berat sebagai pendukung mobilisasi mengalami perkembangan yang pesat untuk mendukung pelaksanaan konstruksi.

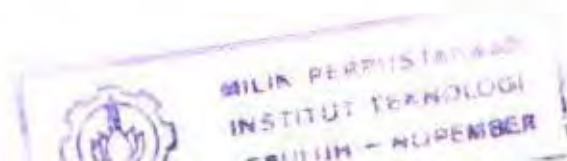
Mengingat gedung perkantoran ini memiliki model gedung tinggi dan ramping, maka dapat dimungkinkan untuk menggunakan sistem beton pracetak sebagai alternatif penyelesaian desain. Sistem ini menjadi lebih efektif, bila diterapkan pada jenis pekerjaan komponen struktur yang tipenya sama yang mempunyai sifat masal dan berulang, dalam hal ini struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya memiliki sifat tersebut.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk merencanakan ulang Struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya dengan menyajikan alternatif penyelesaian dengan beton pracetak., menggunakan *building frames sistem*.

1.3. Lingkup Permasalahan

Perencanaan struktur yang menggunakan metode pracetak perlu diperhatikan struktur penahan beban lateral dan detail pada sambungan, agar dapat berperilaku monolit dan berperilaku sesuai dengan Building Frames System. Demikian pula



dengan masalah pengangkutan, pengangkatan dan pemasangan diperlukan sebagai pertimbangan ekonomi dalam perencanaan elemen – elemen pracetak. Dengan mempertimbangkan hal tersebut diatas akan didapatkan sistem yang tepat dan efisien.

1.4. Batasan Masalah

Dalam perencanaan Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti, jalan HR. Muhammad Surabaya ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut :

1. Elemen struktur yang meliputi elemen balok dan pelat direncanakan dengan beton pracetak. Sedangkan untuk elemen tangga, kolom, overtopping dan shear Wall dengan cor setempat.
2. Tidak membahas metode pelaksanaan konstruksi di lapangan namun akan dibahas tentang detail penulangan dari elemen.
3. Pada perencanaan ini tidak dilakukan analisa segi biaya, serta tidak membahas kecepatan pelaksanaan konstruksi menggunakan metode pracetak dibandingkan dengan cor setempat.

1.5. Tinjauan Pustaka

Pengertian pracetak atau precast disebutkan beberapa sumber antara lain :

1. Menurut Plant Cast and Prestressed Concrete (A Design Guide) menyebutkan beton pracetak adalah beton pracetak yang dicetak di beberapa lokasi (dapat di pabrik atau di lokasi proyek) yang pada akhirnya dipasang pada posisinya dengan suatu sistem sambungan sehingga rangkaian elemen demi elemen beton pracetak menjadi satu kesatuan utuh sebagai suatu struktur.
2. Dalam SKSNI T-15-1991-03 (ps. 3.9.1) disebutkan beton pracetak adalah komponen beton yang dicor ditempat yang bukan merupakan posisi terakhirnya dalam suatu struktur.

Pada perencanaan Tower Gedung PT. Halim Sakti Surabaya ini akan dipakai pemodelan struktur sebagai building frames system . Building Frames System yang seperti pengertiannya disebutkan dalam peraturan UBC 1997 (Uniform Building System) pasal 1629.6.3 yaitu sistem struktur yang pada dasarnya memanfaatkan

space frame untuk menjadi penahan beban gravitasi sedangkan penahan terhadap beban lateral dilakukan oleh **shear wall** atau **braced system**.

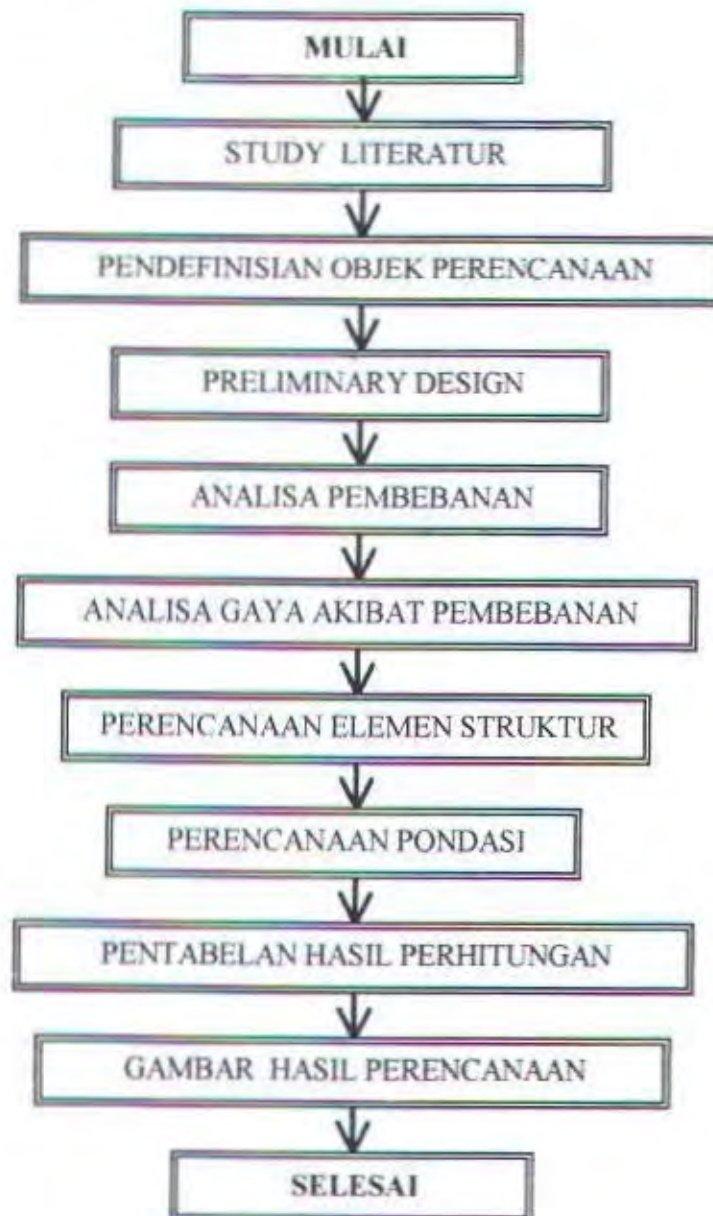
1.6. Metodologi

Metode atau langkah – langkah yang digunakan dalam merencanakan struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan atau mempelajari literatur yang berkaitan dengan perencanaan.
2. Pendefinisian obyek perencanaan yaitu penentuan gedung sebagai obyek perencanaan, peruntukan gedung dan lokasi dibangunnya gedung yang dipakai untuk menentukan zona gempa lokasi bangunan.
3. Preliminary design yang mencakup perencanaan dimensi struktur gedung.
4. Analisa pembebanan meliputi :
 - a. Besarnya beban hidup dan beban mati sesuai dengan ketentuan PPIUG 1983,
 - b. Besarnya beban gempa sesuai dengan ketentuan UBC 1997,
 - c. Kombinasi pembebanan sesuai dengan UBC 1997 sesi 1612.2.1 dan section 1909.2.1
5. Pemodelan struktur meliputi :
 - a. Struktur utama dimodelkan sebagai building frame sistem, dimana gaya gravitasi ditahan oleh space frame dan beban lateral ditahan oleh shear wall dengan perletakan dasar jepit.
 - b. Lantai dimodelkan sebagai diafragma kaku dengan tumpuan yang terjepit elastis dengan balok.
 - c. Tangga dimodelkan sebagai frame 2 dimensi dengan perletakan jepit dan rol pada bagian bordes.
6. Analisa gaya – gaya dalam yang terjadi dalam struktur
 - a. Untuk analisa struktur utama dipakai bantuan program ETABS
 - b. Untuk analisa elemen tangga dipakai analisa biasa
 - c. Untuk analisa struktur sekunder (pelat dan balok) dipakai tabel koefisien pada PBI 1971
7. Detail elemen struktur
 - a. Detail penulangan sesuai dengan SK SNI T – 15 –1991-03

- b. Tipe sambungan sesuai dengan PCI Design Hand Book Precast and Prestressed concrete, fourth edition
- 8. Perhitungan pondasi dari struktur gedung.
- 9. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel
- 10. Bentuk struktur dan hasil perhitungannya akan disajikan dalam bentuk gambar.

Diagram alur metoda perencanaan



BAB II

DASAR – DASAR PERENCANAAN

BAB II

DASAR – DASAR PERENCANAAN

DASAR – DASAR PERENCANAAN

2.1 Umum

Dalam Tugas akhir ini dasar – dasar perencanaan yang dimaksud adalah segala sesuatu baik yang berupa data – data teknis, asumsi – asumsi perencanaan sampai dengan penggunaan berbagai metode yang dapat dimanfaatkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Data – data teknis dalam hal ini dapat berupa gambar yang ada baik yang berkenaan dengan kolom, luas lantai, tinggi total struktur, jumlah lantai, dimensi arah panjang dan arah lebar dari bangunan dan data – data lainnya yang kesemuanya itu akan akan membantu mengidentifikasi struktur yang dimaksud dalam perhitungan beban gravitasi, penentuan cara analisa perhitungan beban gempa sampai pada bentuk pemodelan struktur itu sendiri agar pendekatan yang dilakukan mendekati kenyataan yang sebenarnya.

Setelah membaca dan menganalisa semua data – data teknis yang telah ada maka dapat menggunakan beberapa asumsi – asumsi tertentu yang berkenaan dengan struktur yang ada. Asumsi – asumsi dianggap penting dikarenakan kesalahan dalam mengasumsikan struktur untuk kondisi tertentu akan membahayakan struktur itu sendiri. Hal ini yang selanjutnya menjadikan bahan pemikiran penulis untuk menetapkan metode analisa yang tepat untuk elemen pelat, elemen unsur – unsur sekunder dan elemen unsur – unsur primer guna mempermudah menganalisa elemen yang dimaksud.

2.2. Data Bangunan

Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya yang akan dimodifikasi dalam tugas akhir ini fungsi utamanya adalah serbagai gedung perkantoran.

Adapun data – data bangunan adalah sebagai berikut :

- Nama Gedung : Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti
- Lokasi : Jl. HR. Muhammad Surabaya

- Jumlah Lantai : 10 lantai + 1 atap
Gedung Utama Dimodifikasi 8 lantai + 1 atap pelat beton
- Jumlah Lantai : 3 lantai + 1 atap beton
Gedung Sekunder
- Gedung Utama : Panjang = 24.4 m
: Lebar = 18 m
- Gedung Sekunder : Panjang = 6.6 m
: Lebar = 18 m
- Tinggi Gedung : 40 m
Dimodifikasi menjadi 32 m
- Bahan Struktur : Beton Bertulang Biasa
Dimodifikasi menjadi beton pracetak untuk elemen
Balok Induk dan Balok Anak, Pelat lantai dan Pelat atap.
Beton bertulang biasa untuk elemen Kolom, shear wall dan tangga
- Pondasi : Tiang Pancang

2.3. Data Tanah

Penyelidikan tanah berfungsi untuk mengetahui jenis tanah sehingga dapat digunakan untuk perencanaan pondasi sesuai dengan jenis serta kemampuan daya dukung tanah tersebut.

Dari hasil penyelidikan tanah maka dapat direncanakan untuk Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya dengan Pondasi Tiang Pancang.

2.4. Pembebanan

2.4.1. Definisi beban

Pembebanan yang dimaksud dalam pembebanan berikut adalah beban – beban yang diperkirakan akan bekerja pada struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya. Adapun jenis pembebanan yang diperhitungkan dalam perancangan gedung ini meliputi :

1. Beban Mati (PPI 1983 BAB I ps. 1 ayat 1)

Beban mati adalah berat dari semua bagian gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari gedung itu.

2. Beban Hidup (PPI 1983 BAB I ps. 1 ayat 1)

Beban hidup adalah semua beban akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban – beban lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat dipisah, mesin – mesin serta peralatan yang berasal dari barang – barang yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa umur gedung, sehingga mengakibatkan perubahan dalam lantai dan atap. Khusus pada atap dapat dikategorikan beban hidup dari air hujan, baik dari genangan maupun akibat tekanan jatuhnya air hujan. Untuk beban hidup pada lantai harus diambil menurut tabel 3.1 PPI 1983 dimana didalam beban hidup tersebut sudah termasuk kelengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruang yang bersangkutan, dan juga dinding – dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari 100 kg/m².

3. Beban Gempa

Sesuai dengan UBC 1997 Division IV Earthquake Design

$$\text{Gaya Geser Lateral Dasar ; } V = \frac{C_w.I.W}{R.T}$$

2.5. Asumsi dan Analisa

2.5.1. Asumsi

1. Untuk pelat dipakai pelat biasa dan lantai dimodelkan sebagai diafragma yang kaku dengan tumpuan terjepit elastis dengan balok.
2. Struktur tangga dihitung sebagai frame 2 dimensi dengan perletakan sendi dan perletakan rol pada bagian bordes sehingga struktur ini tidak akan berpengaruh pada struktur utama
3. Perletakan kolom dan shear wall dapat diasumsikan sebagai perletakan jepit

4. Sesuai dengan Building Frame System, Bahwa Space Frame diperuntukkan sebagai penahan gaya gravitasi sedangkan shear wall sebagai penahan gaya lateral.

2.5.2. Metode Analisa

1. Analisa gaya pada elemen plat dengan menggunakan analisa manual
2. Analisa gaya dalam struktur utama menggunakan program ETABS

BAB III

PENGANTAR BETON PRACETAK

BAB III

PENGANTAR BETON PRACETAK

3.1 Definisi Beton Pracetak

1. Menurut **Plant Cast and Prestressed Concrete (A Design Guide)** menyebutkan beton pracetak adalah beton pracetak yang dicetak di beberapa lokasi (dapat di pabrik atau di lokasi proyek) yang pada akhirnya dipasang pada posisinya dengan suatu sistem sambungan sehingga rangkaian elemen demi elemen beton pracetak menjadi satu kesatuan utuh sebagai suatu struktur.
2. Dalam **SK SNI T-15-1991-03 (ps 3.9.1.)** disebutkan beton pracetak adalah komponen beton yang dicor ditempat yang bukan merupakan posisi terakhirnya dalam suatu struktur.

3.2 Industri Beton Pracetak

3.2.1 Pabrikasi yang bersifat sementara

1. Luas areal proyek cukup luas sehingga cukup tempat untuk membuat atau menyimpan bahan baku dan elemen – lemen pracetak yang sudah jadi untuk menunggu giliran pemasangan.
2. Lingkungan mendukung untuk pergerakan transportasi dari komponen pracetak yaitu berkaitan dengan pengaturan letak tower crane, tempat penyimpanan elemen pracetak dan tempat dipasangkannya elemen pracetak pada struktur sehingga pelaksanaannya dapat berjalan lancar.
3. Tempat dan proses pabrikasi akan berakhir seiring berakhirnya proyek.

3.2.1 Pabrikasi yang bersifat permanen

1. Pabriknya memerlukan areal yang sangat luas, karena produksi akan dilakukan secara massal dan tentunya didukung dengan lokasi sumber bahan baku yang relatif dekat dengan lokasi proyek.
2. Proses berlangsungnya pabrikasi harus tetap menjaga lingkungan dari segala polusi akibat proses pabrikasi
3. Sarana jalannya diharapkan juga mendukung pergerakan dari bahan baku, elemen pracetak yang sudah jadi, serta truk dan kendaraan berat lainnya untuk keluar masuk di lokasi proyek.

3.3 Transportasi Elemen Pracetak

Pergerakan elemen – lemen pracetak mulai dari fabrikasi sampai ke lokasi proyek merupakan bagian terpenting dari rencana penggunaan elemen pracetak. Alat pengangkut seperti truk atau trailer harus disesuaikan dengan elemen yang akan diangkut, demikian pula dengan jalan yang akan dilewati harus cukup memenuhi syarat baik lebar, kemampuan maksimal dalam menerima beban sesuai dengan desain dan syarat – syarat lainnya yang mendukung kelancaran pergerakan dari lemen practiveak tersebut.

Beberapa faktor – faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan pengangkutan elemen pracetak kelokasi proyek adalah sebagai berikut :

1. Waktu yang diperlukan untuk mencapai lokasi
2. Ijin angkutan berkenaan dengan ukuran dan bentuk kendaraan pengangkut.
3. Daya tampung gudang dalam menerima pengiriman elemen pracetak di lokasi proyek.
4. Kemampuan tower crane dalam mengangkut elemen pracetak.
5. Jadwal pemasangan elemen pracetak sesuai jadwal.
6. Ketelitian dalam pemberian tanda lokasi dimana elemen pracetak akan ditempatkan sehingga sekecil mungkin dihindari kesalahan pengangkatan oleh tower crane yang disebabkan kesalahan dalam memberikan tanda lokasi pada elemen pracetak dalam struktur.

Waktu antara pengangkutan elemen pracetak sampai pada saat pemasangannya dapat menjadi ideal apabila elemen – elemen pracetak



sampai lokasi pada saat elemen tersebut akan dipasang sehingga apabila hal tersebut benar – benar tercapai maka akan memperkecil total luas area penumpukan (luas gudang) di lokasi, sehingga hal tersebut akan menguntungkan karena ruang kerja di lokasi proyek menjadi lebih luas. Demikian pula halnya

3.4 Pemasangan Elemen Pracetak

3.4.1 Site Plan

Dengan site plan diperoleh hal – hal sebagai berikut :

1. Tempat penempatan tower crane
2. Tempat penumpukan elemen pracetak sehingga dijangkau tower crane
3. Perencanaan jalan proyek

3.4.2 Peralatan

Hal – hal yang perlu diperhatikan :

1. Jumlah tower crane agar dapat berfungsi maksimal
2. Berapa diameter perputaran tower crane
3. Berapa kapasitas angkat maksimal tower crane
4. Peralatan pembantu yang dibutuhkan

3.4.3 Siklus Pemasangan Elemen Pracetak

1. Pemasangan elemen kolom
2. Pemasangan elemen balok
3. Pemasangan elemen pelat
4. Pengecoran Overtopping

3.4.4 Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja secara keseluruhan yang diperlukan untuk penyelesaian struktur suatu bangunan yang memakai pracetak lebih sedikit dibandingkan dengan tenaga kerja dilapangan (semisal pekerjaan dengan konvensional).

3.5 Beberapa Typikal Pracetak

3.5.1 Pelat (precast Slab)

Untuk pelat pracetak (precast slab) ada dua jenis yang umum dipakai yaitu :

1. Pelat pracetak berlubang (Hollow Core Slab)

Pelat pracetak dimana lebih tebal dan biasanya menggunakan kabel pratekan. Keuntungannya adalah lebih ringan, durabilitas tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi.

2. Pelat pracetak tanpa berlubang (Non Hollow Core Slab)

Pelat pracetak dimana ketebalan dari pelat lebih tipis dan keuntungannya tidak banyak memakan tempat sewaktu penumpukan.

3.5.2 Balok (precast Beam)

Untuk balok pracetak (precast beam) ada dua macam jenis yang umum dipakai yaitu :

1. Balok berpenampang bentuk persegi (Rectangular Beam)

Keuntungan dari jenis ini adalah sewaktu pabrikan lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan.

2. Balok berpenampang U (U-Shell Beam)

Keuntungan dari bentuk ini adalah lebih ringan dan dapat digunakan pada bentang yang panjang dan penyambungan pada join lebih.

3.6 Keuntungan Beton Pracetak

Kualitas beton pracetak dan beton pracetak yang diprategakkan yang diproduksi dibawah kondisi kontrol kualitas yang ideal akan mempunyai beberapa keuntungan sebagai berikut :

1. Ketebalan elemen kecil

Elemen pracetak yang diprategakkan akan memiliki ketebalan yang minimum. Elemen struktur mampu digunakan untuk bentang panjang dan yang terpenting dari segi struktur bisa meringankan berat struktur sehingga akan memperkecil beban gempa yang harus dipikul struktur.

2. Daya dukung beban tinggi
Beton pracetak memiliki kekuatan yang lebih tinggi guna menerima beban yang cukup berat
3. Keawetan
Beton dengan kualitas ideal memiliki kepadatan dan kedap air yang lebih tinggi sehingga beton pracetak lebih tahan terhadap korosi, kerusakan lainnya akibat dari umur beton.
4. Bentang panjang
Dengan bentang yang lebih panjang akan lebih leluasa untuk desain interior gedung.
5. Fleksibel untuk dikembangkan
Beton pracetak dapat diproduksi untuk penyediaan fasilitas arah vertikal dan horisontal secara lebih mudah. Misalnya untuk saluran listrik, saluran air kotor dan lainnya dengan biaya rendah.
6. Sedikit perawatan
Proses pabrikasi beton pracetak dengan kontrol kualitas yang baik akan dihasilkan beton dengan kepadatan yang lebih tinggi sehingga lebih tahan terhadap korosi dan keropos.
7. Penyediaannya mudah
Penyediaan beton pracetak dapat dilakukan dengan mudah terutama untuk produksi massal disesuaikan dengan jadwal pemasangan selama pemesanan masih dibawah kapasitas produksi maksimum.
8. Ekonomis
Secara keseluruhan penggunaan elemen beton pracetak mempunyai keuntungan biaya rendah dan dapat dilakukan penghematan biaya yang lainnya. Mahalnya tenaga kerja di lapangan dapat dikurangi sehingga dapat menghemat biaya pelaksanaan.
9. Kontrol kualitas
Dalam produksinya beton pracetak lebih mudah dilakukan kontrol kualitas sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan. Dalam pelaksanaannya kontrol kualitas merupakan standar utama untuk standar tinggi dari fabrikasi.

10. Tahan terhadap kebakaran

Beton pracetak tidak mudah terbakar adalah material yang baik untuk mencegah menjalarnya api pada gedung atau antar gedung. Manfaat yang melekat pada beton pracetak menjamin keamanan penghuni dari kebakaran.

11. Transmisi kegaduhan rendah

Dikarenakan kegiatan elemen pracetak banyak dilakukan di pabrik dan dilokasi proyek hanya tinggal pemasangan saja, maka tingkat kegaduhan akan sangat berkurang jika dibandingkan dengan cara konvensional.

12. Kontrol dari creep dan shrinkage

Elemen pracetak biasanya dirawat dalam tempat penyimpanan sesudah dicetak selama 30 hari sampai 60 hari sebelum dikirim ke lokasi. Bagian terpenting 50 %

Atau lebih dari pergerakan dari creep dan shrinkage jangka panjang mungkin terjadi sebelum komponen – komponen tergabung dalam satu kesatuan struktur.

13. Kecepatan konstruksi

Konstruksi beton pracetak akan sangat membantu penghematan waktu pelaksanaan.

3.7 Aplikasi Sistem Pracetak Pada Gedung

Jenis – jenis elemen gedung yang dipakai adalah sistem pabrikasi serta sistem sambungannya adalah sebagai berikut :

- a. Pelat pracetak yang dipakai adalah pelat pracetak tidak berlubang
- b. Kolom pracetak yang digunakan adalah berpenampang persegi
- c. Sambungan yang dipakai adalah sambungan basah (cor setempat) atau sambungan kering (dengan pengelasan) disesuaikan dengan keperluan.
- d. Pabrikasi elemen pracetak dibuat dilokasi lain yang terletak tidak jauh dari lokasi proyek.

BAB IV

**PERENCANAAN
STRUKTUR SEKUNDER**

BAB IV

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

4.1 Pendahuluan

Struktur sekunder termasuk merupakan bagian dari struktur yang tidak menahan kekakuan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan akibat beban kerja. Termasuk dalam struktur sekunder adalah pelat, balok anak dan tangga.

4.1.1 Preliminary Design

Data perencanaan :

Mutu bahan :

Mutu Beton (f_c') = 30 Mpa

Mutu Baja (f_y) = 320 MPa

Dimensi balok

Perencanaan disesuaikan dengan SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.2.5 tabel a

$$h_{min} = \frac{Lb}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

a. Arah memanjang (balok induk)

- Lb = 660 cm $h_{min} = 35,36$ cm

Dimensi (40/70)

- Lb = 560 cm $h_{min} = 30,00$ cm

Dimensi (40/70)

b. Arah melintang (balok induk)

- Lb = 400 cm $h_{min} = 21,42$ cm

Dimensi (30/50)

- Lb = 300 cm $h_{min} = 16,07$ cm

Dimensi (30/50)

c. Arah melintang (balok anak)

- Lb = 400 cm $h_{min} = 21,42$ cm

Dimensi (30/40)

- $L_b = 300 \text{ cm}$ $h_{\min} = 16.07 \text{ cm}$
Dimensi (30/40)

4.1.2 Analisa Struktur

Tebal pelat yang direncanakan adalah setebal 12 cm, terdiri dari 7 cm pracetak dan 5 cm overtopping. Peraturan yang digunakan adalah peraturan pembebanan Untuk Gedung 1983 (PPIUG) dalam menentukan besarnya beban – beban yang bekerja pada struktur.

Dua kondisi perencanaan pelat pracetak :

1. Sebelum komposit

Komponen pracetak dan topping belum menyatu dalam memikul beban.

2. Sesudah komposit

Komponen pracetak dan topping telah bersama - sama dalam memikul beban.

Pemodelan pelat terutama perletakan sebelum komposit diasumsikan memiliki perletakan bebas sedangkan setelah komposit diasumsikan perletakannya terjepit elastis. Penulangan pelat didasarkan atas penggabungan dua kondisi diatas, diambil manakah yang terbesar.

Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi juga perlu diperhitungkan adanya tulangan angkat yang sesuai dengan pemasangan pelat pracetak.

4.1.3 Perencanaan Pembebanan Pelat

4.1.3.1 Pembebanan Pelat Lantai

➤ Sebelum Komposit

Adanya penumpukan beton segar saat pengecoran juga harus diperhitungkan, diperkirakan $\pm 2 \text{ cm}$, sehingga total tebal topping dalam perhitungan adalah diperkirakan setebal 7 cm.

1. Beban Mati (DL)

- Berat topping $= 0.07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$
 - Berat sendiri $= 0.07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$
- 336 kg/m^2

2. Beban Hidup (LL) $= 200 \text{ kg/m}^2$

➤ Sesudah Komposit

1. Beban Mati (DL)

- Berat sendiri = $0.12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$
- Ubin ($t = 2 \text{ cm}$) = $0.02 \times 2400 = 48 \text{ kg/m}^2$
- Spesi ($t = 2 \text{ cm}$) = $0.02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
- AC + pipa = 10 kg/m^2
- Plafon + penggantung ($11 + 7$) = 18 kg/m^2 +
406 kg/m²

2. Beban Hidup (LL) = 250 kg/m^2

4.1.3.2 Pembebanan Pelat Atap

➤ Sebelum Komposit

Adanya penumpukan beton segar saat pengecoran juga harus diperhitungkan, diperkirakan $\pm 2 \text{ cm}$, sehingga total tebal topping dalam perhitungan adalah diperkirakan setebal 7 cm.

1. Beban Mati (DL)

- Berat topping = $0.07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$
- Berat sendiri = $0.07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$ +
336 kg/m²

2. Beban Hidup (LL) = 200 kg/m^2

➤ Sesudah Komposit

1. Beban Mati (DL)

- Berat sendiri = $0.12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$
- Aspal ($t = 1 \text{ cm}$) = $0.01 \times 1400 = 14 \text{ kg/m}^2$
- Spesi ($t = 2 \text{ cm}$) = $0.02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
- AC + pipa = 10 kg/m^2
- Plafon + penggantung ($11 + 7$) = 18 kg/m^2 +
372 kg/m²

2. Beban Hidup (LL) = 100 kg/m^2

4.1.4 Kombinasi Pembebanan

1. Kombinasi Pembebanan Pelat Lantai

a. Sebelum Komposit

$$Q_u = 1.2 \times 168 + 1.6 \times 200 = 521.6 \text{ kg/m}^2 \quad \dots \text{ ada beban kerja}$$

$$Q_u = 1.2 \times 336 + 1.6 \times 0 = 403.2 \text{ kg/m}^2 \quad \dots \text{ topping telah terpasang}$$

b. Sesudah Komposit

$$Q_u = 1.2 \times 406 + 1.6 \times 250 = 887.2 \text{ kg/m}^2$$

2. Kombinasi Pembebanan Pelat Atap

a. Sebelum Komposit

$$Q_u = 1.2 \times 168 + 1.6 \times 200 = 521.6 \text{ kg/m}^2 \quad \dots \text{ ada beban kerja}$$

$$Q_u = 1.2 \times 336 + 1.6 \times 0 = 303.2 \text{ kg/m}^2 \quad \dots \text{ topping telah terpasang}$$

b. Sesudah Komposit

$$Q_u = 1.2 \times 372 + 1.6 \times 100 = 606.4 \text{ kg/m}^2$$

4.1.5 Perencanaan Pelat

Diambil contoh pelat Type A (3.3 X 4 m²)



Gambar 4.1 Pelat Type A

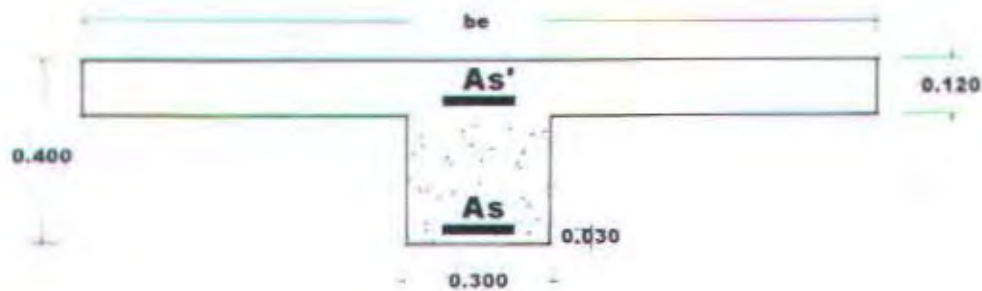
4.1.5.1 Penentuan Tebal Pelat

SKSNI T-15-1991-03 tabel 3.2.5 a memberikan penjelasan mengenai tebal minimum balok nonpratekan atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung dimana komponen yang tidak mendukung atau menyatu dengan partisi atau konstruksi yang lain akan rusak karena lendutan yang besar.

$$l_n = 400 - \left(\frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 360 \text{ cm}$$

$$S_n = 330 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 300 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{360}{300} = 1.2 \leq 2 \quad \dots\dots\dots \text{pelat dua arah}$$



Gambar 4.2 Dimensi Pelat dan balok anak

a. Balok Melintang

balok interior

Data – data balok

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$t = 12 \text{ cm}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$L_s = 400 \text{ cm}$$

$$be_1 = b_w + 2(h - t) = 30 + 2(50 - 12) = 94 \text{ cm} \quad \dots\dots \text{Menentukan}$$

$$be_2 = b_w + 8t = 30 + 8 \times 12 = 126 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{94}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{96}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{96}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)} = 1.71$$

$$I_b = \frac{1}{12} \cdot b \cdot w \cdot h^3 \cdot k$$

$$= \frac{1}{12} \times 30 \times 50^3 \times 1.71 = 534374.9 \text{ cm}^4$$

$$I_b = \frac{1}{12} \cdot L \cdot s \cdot t^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 400 \times 12^3 = 73233.3 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_s} = \frac{534374.9}{73233.3} = 6.57$$

b. Balok Memanjang (L = 330 cm)

$$be1 = 40 + 2(70 - 12) = 156$$

$$be2 = 40 + 8 \times 12 = 136 \quad \dots\dots\dots \text{menentukan}$$

$$k = 1.555$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 40 \times 70^3 \times 1.555 = 1777883.3 \text{ cm}^4$$

$$I_s = \frac{1}{12} \times 330 \times 12^3 = 60417.5 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 9.77$$

c. Balok Melintang (L = 400 cm)

$$be1 = 30 + 2(40 - 12) = 86 \quad \dots\dots\dots \text{menentukan}$$

$$be2 = 30 + 8 \times 12 = 126$$

$$k = 2.12$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 30 \times 40^3 \times 2.12 = 339406.6 \text{ cm}^4$$

$$I_s = \frac{1}{12} \times 400 \times 12^3 = 73233.3 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 4.634$$

didapatkan :

$$\alpha_m = 1/4 \times (2 \times 6.57 + 9.77 + 7.29) = 7.55 \geq 2 \quad \dots\dots\dots h_3 \text{ min} = 9 \text{ cm}$$

tebal minimum

□ tidak boleh kurang dari :

$$h_1 = \frac{\text{Ln}\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0.12\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]}$$

$$= \frac{360\left(0.8 + \frac{320}{1500}\right)}{36 + 5 \times 1.2 \left[7.55 - 0.12\left(1 + \frac{1}{1.2}\right)\right]} = 4.56 \text{ cm}$$

□ tidak boleh kurang dari :

$$h_2 = \frac{\text{Ln}\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta}$$

$$h_2 = \frac{360\left(0.8 + \frac{320}{1500}\right)}{36 + 9 \times 1.2} = 7.79 \text{ cm}$$

untuk $\alpha_m \geq 2$, tebal pelat minimum tidak boleh kurang dari $h_3 = 9 \text{ cm}$, jadi tebal pelat sebesar 12 cm yang direncanakan telah memenuhi persyaratan dan bisa dipergunakan. Tebal pelat lainnya dianggap sama dengan tebal pelat Type A.

4.1.5.2 Perhitungan Tulangan Pelat

Tulangan pelat diambil dengan membandingkan tulangan yang paling kritis dari keadaan penggabungan penulangan sebelum komposit, pengangkatan dan sesudah komposit.

Dalam hal ini diambil contoh perhitungan untuk pelat lantai :

Data Perencanaan :

- Pelat Type A ($3.3 \times 4.0 \text{ m}^2$)
- $f_c = 30 \text{ Mpa}$
- $f_y = 320 \text{ Mpa}$



- decking = 20 mm
- Tulangan utama = 10 mm
- Tebal pracetak = 70 mm
- Tebal topping = 50 mm

Sebelum komposit :

- $dx = 70 - 20 - \frac{10}{2} = 45 \text{ mm}$
- $dy = 70 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 35 \text{ mm}$

Sesudah komposit :

- $dx = 120 - 20 - \frac{10}{2} = 95 \text{ mm}$
- $dy = 120 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 85 \text{ mm}$

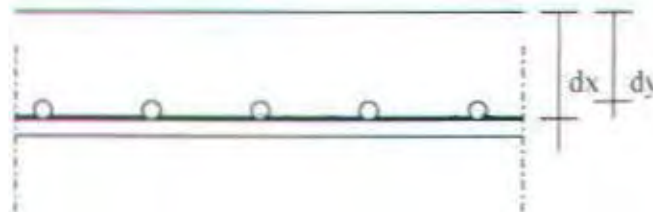
4.1.5.3 Penulangan Sebelum Komposit

$$Q_u = 550.4 \text{ kg/m}^2$$

$$dx = 45 \text{ mm}$$

$$dy = 35 \text{ mm}$$

memakai tulangan $\varnothing 10$ dan selimut beton 20 mm



Gambar 4.3 Potongan Melintang Pelat

Untuk f_c' sampai dengan 30 MPa, β_1 diambil 0,85 (PB '89)

$$\rho_{\min \text{ pelat}} = 0.0018 \times \frac{400}{f_y} = 0.00225 \quad \dots\dots\dots \text{Diklat Lab Beton ITS}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b \quad \dots\dots\dots (\text{Ps. 10.5.1. PB '89})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 * \beta_1 * f_c'}{f_y} * \frac{(600)}{(600 + f_y)} \dots\dots\dots (\text{Ps. 8.4.3. PB '89})$$

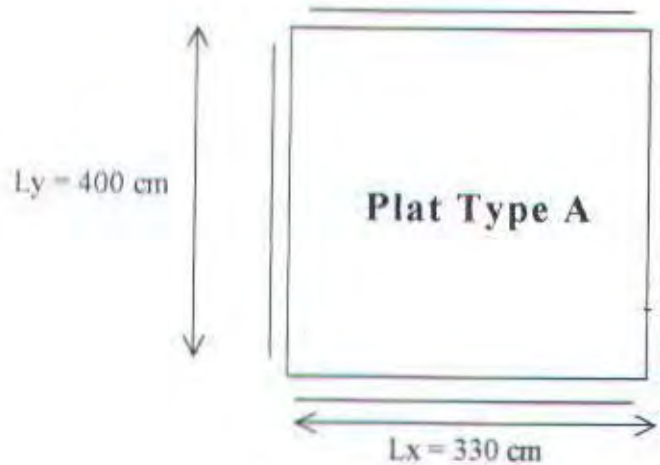
Sebagai contoh perhitungan kita ambil plat lantai **1 type A** untuk dimensi :

$$L_y = 400 \text{ cm}$$

$$L_x = 330 \text{ cm}$$

$$L = \frac{L_y}{L_x} = \frac{400}{330} = 1.2$$

Sehingga didapat Koefisien momen dari tabel Koefisien Momen pada PBI '71 sebagai berikut :



Gambar 4.4 Momen Pelat sesuai PBB1 '71

Dan perhitungan momen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{ulx} &= 0.001 * q_u * L_x^2 * X \dots\dots\dots X_{M_{ulx}} = 59 \\ &= 0.001 * 521.6 * 3.3^2 * 59 \\ &= 3351332 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uly} &= 0.001 * q_u * L_x^2 * X \dots\dots\dots X_{M_{uly}} = 45 \\ &= 0.001 * 521.6 * 3.3^2 * 45 \\ &= 2556100 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

1. Penulangan arah x

➤ Tulangan lapangan

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{ulx}}{\phi} \\&= \frac{3351332}{0,8} \\&= 4189165 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b * d x^2} \\&= \frac{4189165}{1000 * 45^2} \\&= 2.07\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 * f_c'} \\&= \frac{320}{0.85 * 30} \\&= 12.55\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * m * R_n}{f_y}} \right\} \\&= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 12.55 * 2.07}{320}} \right\} \\&= 0.0067 > \rho_{\min} = 0.00225\end{aligned}$$

Di pakai $\rho = 0.0067$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho * b * d x \\&= 0.0067 * 1000 * 45 \\&= 303.9 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat = 210 mm
 $\leq 500 \text{ mm}$

Pakai tulangan $\varnothing 10 - 210$ ($A_s = 392.5 \text{ mm}^2$)

2. Penulangan arah y

➤ Tulangan lapangan

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{uly}}{\phi} \\&= \frac{2556100}{0,8} \\&= 3195125 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b * d^2} \\&= \frac{3195125}{1000 * 35^2} \\&= 2,6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 * f_c'} \\&= \frac{320}{0,85 * 30} \\&= 12,55\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * m * R_n}{f_y}} \right\} \\&= \frac{1}{12,55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 12,55 * 2,6}{320}} \right\} \\&= 0,0085 > \rho_{\text{min}} = 0,00225\end{aligned}$$

Di pakai $\rho = 0,0085$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho * b * d_x \\&= 0,0085 * 1000 * 35 \\&= 300,57 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

menurut SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.16.5 – 5 :

Syarat tulangan utama $\leq 3 \times \text{tebal pelat} = 210 \text{ mm}$
 $\leq 500 \text{ mm}$

Pakai tulangan $\varnothing 10 - 210 (A_s = 392,5 \text{ mm}^2)$

4.1.5.4 Penulangan Sebelum komposit akibat Pengangkatan

Besar momen dan pengaturan jarak tulangan angkat disesuaikan dengan " Precast and Prestressed Concrete " fig. 5.2.1, Dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan.

$$W = 0.07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} M_x &= 0.0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b \\ &= 0.0054 \times 168 \times 3.3^2 \times 4 \\ &= 69.517 \text{ kgm} = 395176 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0.0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2 \\ &= 0.0027 \times 168 \times 3.3 \times 4^2 \\ &= 23.95 \text{ kgm} = 239500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

1. Penulangan arah x

➤ Tulangan lapangan = tulangan tumpuan

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ulx}}{\phi} \\ &= \frac{395176}{0.8} \\ &= 493970 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{493970}{1000 \cdot 45^2} \\ &= 0.139 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{320}{0.85 \cdot 30} \\ &= 12.55 \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\}$$

$$= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 12.55 * 0.139}{320}} \right\}$$

$$= 0.00044 > \rho_{min} = 0.00225$$

Di pakai $\rho = 0.0044$

$$A_s = \rho * b * d_x$$

$$= 0.0044 * 1000 * 45$$

$$= 198 \text{ mm}^2$$

Syarat tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat = 210 mm
 $\leq 500 \text{ mm}$

Pakai tulangan $\varnothing 10 - 210$ ($A_s = 392.5 \text{ mm}^2$)

2. Penulangan arah y

➤ Tulangan lapangan = tulangan tumpuan

$$M_n = \frac{M_{uly}}{\phi}$$

$$= \frac{239500}{0.8}$$

$$= 299375 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b * d_y^2}$$

$$= \frac{299375}{1000 * 35^2}$$

$$= 0.126$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 * f_c'}$$

$$= \frac{320}{0.85 * 30}$$

$$= 12.55$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * m * R_n}{f_y}} \right\}$$

$$= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 12.55 * 0.127}{320}} \right\}$$

$$= 0.0004 < \rho_{\min} = 0.00225$$

Di pakai $\rho = 0.00225$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho * b * d_x \\ &= 0.00225 * 1000 * 35 \\ &= 78.75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

menurut SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.16.5 - 5 :

Syarat tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat = 210 mm
 $\leq 500 \text{ mm}$

Pakai tulangan $\varnothing 10 - 210$ ($A_s = 392.5 \text{ mm}^2$)

4.1.5.5 Penulangan Sesudah Komposit

$$Q_u = 887 \text{ kg/m}^2$$

$$d_x = 95 \text{ mm}$$

$$d_y = 85 \text{ mm}$$

$$\rho_b = 0.044$$

$$\rho_{\max} = 0.033$$

$$\rho_{\min} = 0.00225$$

momen - momen dari PBI '71 ps. 13.1.3.1 :

$$L_y = 400 \text{ cm}$$

$$L_x = 330 \text{ cm}$$

$$L = \frac{L_y}{L_x} = \frac{400}{330} = 1.2$$

Dan perhitungan momen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{ulx} &= 0.001 * q_u * L_x^2 * X & \dots\dots\dots X_{M_{ulx}} &= 46 \\ &= 0.001 * 887.2 * 3.3^2 * 46 \\ &= 4444339 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uly} &= 0.001 * q_u * L_y^2 * X & \dots\dots\dots X_{M_{uly}} &= 38 \\ &= 0.001 * 887.2 * 3.3^2 * 38 \\ &= 3671411 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{utx} &= -0.001 * q_u * Lx^2 * X & \dots\dots X_{M_{utx}} &= 46 \\
 &= -0.001 * 887.2 * 3.3^2 * 46 \\
 &= - 4444339 \text{ N.mm} \\
 M_{uty} &= -0.001 * q_u * Lx^2 * X & \dots\dots X_{M_{uty}} &= 38 \\
 &= -0.001 * 887.2 * 3.3^2 * 38 \\
 &= - 3671411 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

1. Penulangan arah x

➤ Tulangan lapangan = tulangan tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{utx}}{\phi} \\
 &= \frac{4444379}{0.8} \\
 &= 5555473 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b * dx^2} \\
 &= \frac{5555473}{1000 * 95^2} \\
 &= 0.62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 * f_c'} \\
 &= \frac{320}{0.85 * 30} \\
 &= 12.55
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * m * R_n}{f_y}} \right\} \\
 &= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 12.55 * 0.62}{320}} \right\} \\
 &= 0.0023 > \rho_{min} = 0.00225
 \end{aligned}$$

Di pakai $\rho = 0.00225$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho * b * dx \\
 &= 0.00225 * 1000 * 95 \\
 &= 213.75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat tulangan utama $\leq 3 \times \text{tebal pelat} = 360 \text{ mm}$
 $\leq 500 \text{ mm}$

Pakai tulangan $\varnothing 10 - 175$ ($A_s = 549.5 \text{ mm}^2$)

2. Penulangan arah y

➤ Tulangan lapangan = tulangan tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{uly}}{\phi} \\
 &= \frac{1545857}{0.8} \\
 &= 1932321 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b * d_y^2} \\
 &= \frac{1932321}{1000 * 85^2} \\
 &= 0.319
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 * f_c'} \\
 &= \frac{320}{0.85 * 30} \\
 &= 12.55
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * m * R_n}{f_y}} \right\} \\
 &= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 12.55 * 0.317}{320}} \right\} \\
 &= 0.0001 < \rho_{\text{min}} = 0.00225
 \end{aligned}$$

Di pakai $\rho = 0.00225$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.00225 \cdot 1000 \cdot 85 \\ &= 191.25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

menurut SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.16.5 – 5 :

Syarat tulangan utama $\leq 3 \times \text{tebal pelat} = 360 \text{ mm}$
 $\leq 500 \text{ mm}$

Pakai tulangan $\varnothing 10 - 210$ ($A_s = 392.5 \text{ mm}^2$)

4.1.5.6 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Dari kondisi paling kritis dari tiga kondisi diatas (sebelum komposit, pengangkatan dan sesudah komposit), dapat diambil tulangan :

Type Pelat A

| Arah | Tumpuan | Lapangan |
|------|-----------|-----------|
| X | D10 – 175 | D10 – 175 |
| Y | D10 – 210 | D10 – 210 |

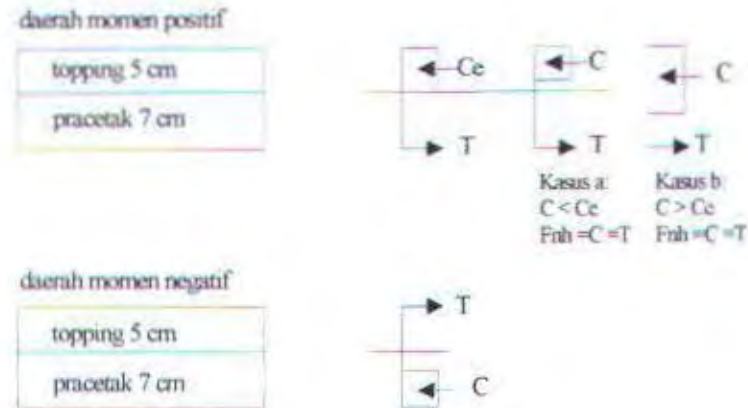
4.1.6 Penulangan Stud Pelat Lantai

Perancangan pelat pracetak didapatkan transfer gaya regangan horisontal harus mampu dipikul oleh seluruh penampang. Jadi fungsi tulangan stud sebagai pengikat elemen pracetak dan topping.

Dalam SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.10.5.3 gaya geser horisontal boleh diperiksa dengan cara menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horisontal ke elemen – elemen pendukung.

Dari gambar dibawah didapatkan gaya geser horisontal yang terjadi pada penampang komposit terdapat 2 kasus :

- kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari tekan elemen cor setempat
- kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari tekan elemen cor setempat



Gambar 4.5 Diagram Gaya Geser Horisontal Penampang Komposit

contoh perhitungan :

pelat Type A ($3.3 \times 4.0 \text{ m}^2$)

$C_c = 0.85 \cdot f_c \cdot A_{topping}$

$$= 0.85 \times 30 \times 50 \times 1000$$

$$= 1275000 \text{ N}$$

$$= 1275 \text{ KN}$$

Dipakai Stud 10 mm

$$A_s = 1/4 \times \pi \times 10^2 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$V_{nh} = A_s \times f_y$$

$$= 78.5 \times 320$$

$$= 25.120 \text{ Kn}$$

$$V_{nh} = C \approx T$$

Dipasang sengkang pengikat min. SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.10.5 butir 2 - 2

$$V_{nh} \leq 0.6 \times b_v \times d$$

$$\leq 0.6 \times 1000 \times 105$$

$$\leq 63 \text{ KN}$$

$$63 \text{ KN} > 25.12 \text{ KN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Spasi sengkang $\leq 4 \times$ tebal cast in situ SKSNI 3.10.6 butir 1

$$\leq 4 \times 50 = 200 \text{ mm}$$

$$\text{atau} \leq 600 \text{ mm}$$

$$A_{v_{min}} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} = \frac{1000 \times 200}{3 \times 320} = 208.3 \text{ mm}$$

dipasang stud D10 – 210 mm

4.1.7 Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tarik lebih dari 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif terbesar harus diseimbangkan sedemikian hingga nilai z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} < 30 \text{ MN/m} \dots\dots \text{SKSNI T-1991-03 ps. 3.3.6 butir 4}$$

$$f_s = 0.6 \times f_y = 0.6 \times 320 = 192 \text{ Mpa}$$

d_c = decking + $1/2 \times$ jari – jari tulangan

$$d_c \text{ arah } x = 20 + 1/2 \times 10 = 25 \text{ mm}$$

$$d_c \text{ arah } y = 20 + 10 + 1/2 \times 10 = 35 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton tarik disekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan pusat tulangan

➤ Retak arah x

$$A = (0.50 \times 1 \text{ m})^2 / 6 = 0.083 \text{ m}^2$$

$$Z = 192 \times \sqrt[3]{0.025 \times 0.083} = 24.49 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \dots \text{OK}$$

➤ Retak arah y

$$A = (0.70 \times 1 \text{ m})^2 / 5 = 0.14 \text{ m}^2$$

$$Z = 192 \times \sqrt[3]{0.035 \times 0.014} = 15.2 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \dots \text{OK}$$

4.1.8 panjang Penyaluran

1. $L_{dh} > 8 \times d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$ SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.5.5.1

2. $L_{dh} > 150 \text{ mm}$ SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.5.5.1

3. $l_{dh} = \frac{100 \cdot d_b}{\sqrt{f_c}} = \frac{100 \times 10}{\sqrt{30}} = 182.57$ SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.5.5.2

4. $L_{dh} > l_{hb} \cdot \frac{f_y}{400} = 182.57 \times \frac{320}{400} = 146.1 \text{ cm}$

Diambil panjang penyaluran 150 mm

4.1.8 Kontrol Tegangan Pelat

Kontrol Tegangan Pelat Sebelum Komposit

titik berat

$$\frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot X_1^2 = n \cdot A_s \cdot (d_1 - X_1)$$

$$500 \cdot x_1^2 = 8 \times 549.5 (45 - x_1)$$

$$X_1 = 20.72 \text{ mm}$$

$$M \text{ sebelum } (M_{sb}) = 3351332 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 1/3 \times b \times X_1^3 + n \times A_s \times (d_1 - X_1)^2$$

$$1/3 \times 1000 \times 20.72^3 + 8 \times 1099 \times (45 - 20.72)^2 = 5326008.8 \text{ mm}^2$$

$$y_a = X_1 = 20.72 \text{ mm}$$

$$y_b = (d_1 - X_1) = 24.28 \text{ mm}$$

$$\text{Teg. Serat atas} = \frac{M_{sb} \cdot y_a}{I_{cr}} = \frac{3351332 \times 20.72}{5326008.8} = 13.03 \text{ MPa}$$

$$\text{Teg. Serat bawah} = \frac{M_{sb} \cdot y_b}{I_{cr}} = \frac{3351332 \times 24.28}{5326008.2} = 15.27 \text{ MPa}$$

Kontrol Tegangan Pelat Sesudah Komposit

titik berat

$$\frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot X_1^2 = n \cdot A_s \cdot (d_2 - x_2)$$

$$500 \cdot x_1^2 = 8 \times 549.5 (95 - x_2)$$

$$X_2 = 33.13 \text{ cm}$$

$$M \text{ sesudah } (M_{sd}) = 4444339 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 1/3 \times b \times X_2^3 + n \times A_s \times (d_2 - X_2)^2$$

$$1/3 \times 1000 \times (33.13)^2 + 8 \times 549.5 \times (95 - 33.13)^2 = 17193263.8 \text{ mm}^4$$

$$y_a = X_2 = 33.13 \text{ mm}, y_b = (d_2 - X_2) = 61.87 \text{ mm}$$

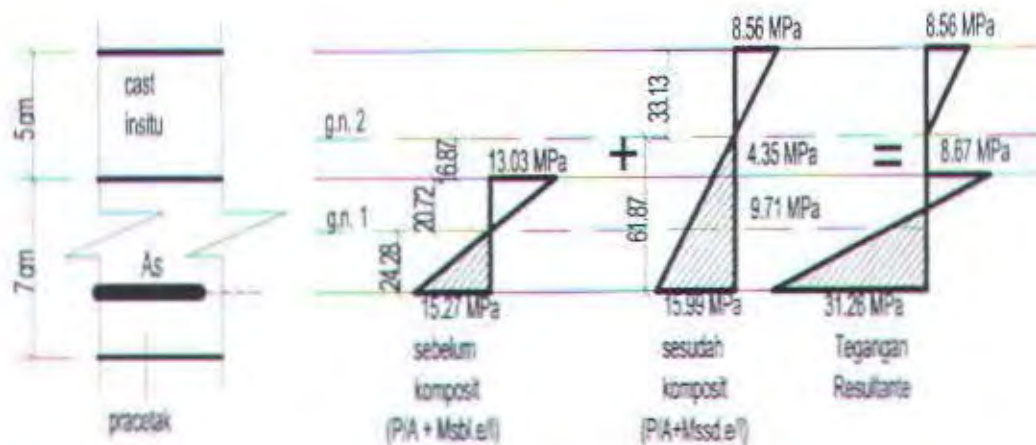
$$\text{Teg. Serat atas} = \frac{M_{sd} \cdot y_a}{I_{cr}} = \frac{4444339 \times 33.13}{17193263.8} = 8.56 \text{ MPa}$$

$$\text{Teg. Serat bawah} = \frac{M_{sd} \cdot y_b}{I_{cr}} = \frac{4444339 \times 61.87}{17193263.8} = 15.99 \text{ MPa}$$

Didapatkan :

$$\frac{\sigma_2}{8.99} = \frac{16.87}{86.87} \dots \sigma_a = 1.74 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_1}{8.99} = \frac{29.71}{86.87} \dots \sigma_a = 3.07 \text{ MPa}$$



Gambar 4.6 Diagram tegangan Pelat



4.2 Perencanaan Balok Anak

Balok dianggap terjepit elastis pada tumpuan, apabila balok tersebut pada tumpuan sebagai satu kesatuan monolit dengan balok lain, dinding atau dinding kolom beton bertulang yang dapat dianggap dapat memberikan perlawanan terhadap bentuk perubahan balok di tumpuan tersebut (PPBBI 1971)

Balok anak setelah komposit dianggap “ terjepit elastis “.

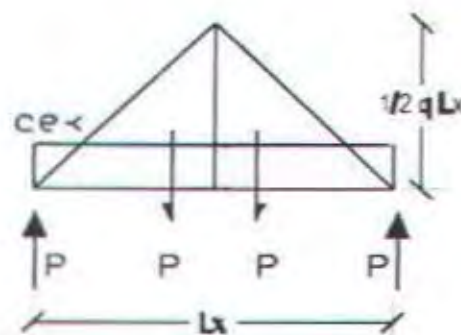
4.2.1 Mekanika Pembebanan

Perumusan Beban ekivalen dapat diturunkan sebagai berikut :



Variasi pembebanan dan beban ekivalen pelat yang terjadi pada perhitungan balok ini adalah :

1. Beban Ekivalen Segitiga



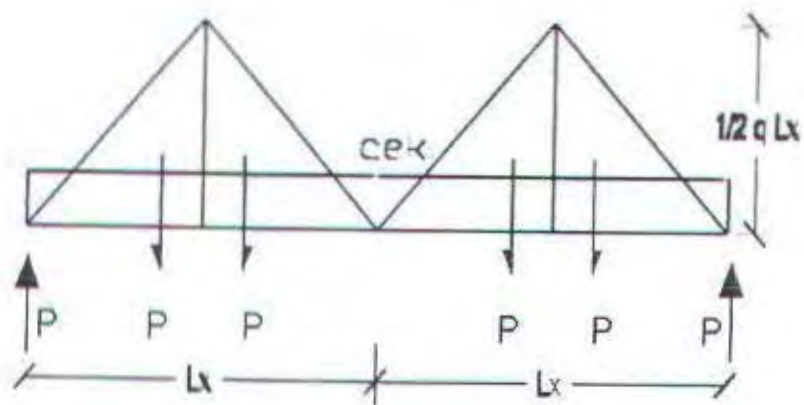
$$P = \frac{1}{2} L_x \cdot \frac{1}{2} q L_x \cdot \frac{1}{2}$$
$$= \frac{1}{8} q L_x^2$$

$$M_{\max} = P \cdot \left[\frac{Lx}{2} - \frac{Lx}{6} \right]$$

$$\frac{1}{8} \cdot q \cdot Lx^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot Lx^2 \cdot \left[\frac{Lx}{2} - \frac{Lx}{6} \right]$$

$$q_{ek} = \frac{1}{3} \cdot q \cdot Lx$$

2. Beban Ekuivalen dua Segitiga



$$P = \frac{1}{2} \cdot Lx \cdot \frac{1}{2} \cdot q \cdot Lx \cdot \frac{1}{2}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot q \cdot Lx^2$$

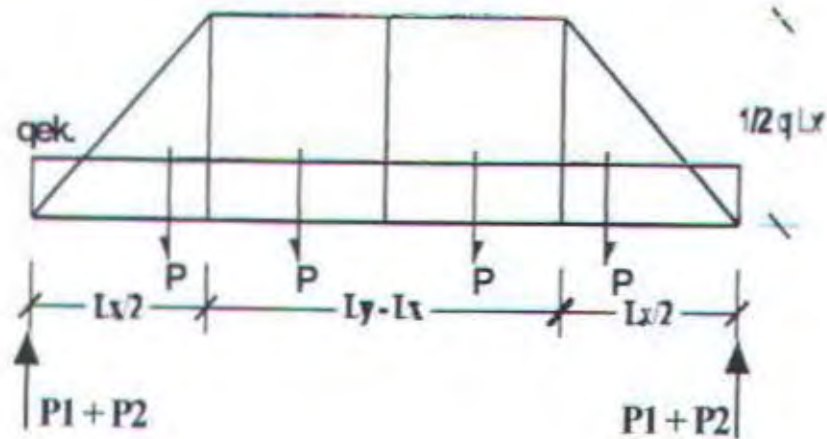
$$M_{\max} = 2P \cdot Lx - P \left[\frac{Lx}{2} + \frac{Lx}{6} \right] - P \cdot \frac{Lx}{3}$$

$$= P \cdot Lx$$

$$\frac{1}{8} \cdot q \cdot (2Lx)^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot Lx^2 \cdot Lx$$

$$q_{ek} = \frac{1}{4} \cdot q \cdot Lx$$

3. Beban Ekuivalen Trapezium



$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} Lx \cdot \frac{1}{2} q Lx$$

$$= \frac{1}{8} q Lx^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} q Lx \cdot \frac{1}{2} (Ly - Lx)$$

$$= \frac{1}{4} q Lx (Ly - Lx)$$

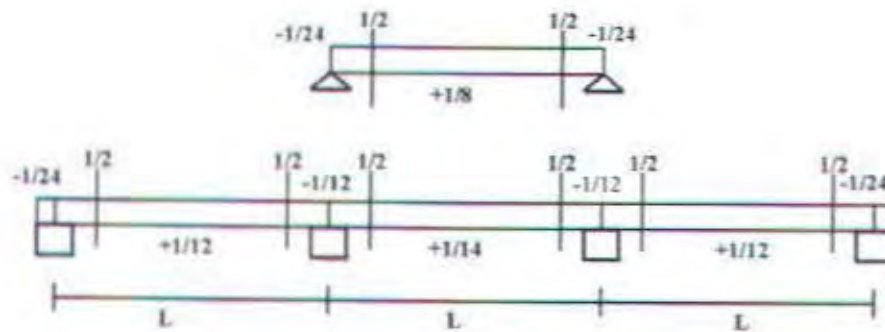
$$M_{max} = (P_1 + P_2) \times \left[\frac{Lx}{2} + \frac{Ly - Lx}{2} \right] - P_1 \times \left[\frac{Lx}{6} + \frac{Ly - Lx}{2} \right] - P_2 \times \left[\frac{Ly - Lx}{2} \right]$$

$$= \frac{1}{6} Lx [2P_1 + 3P_2]$$

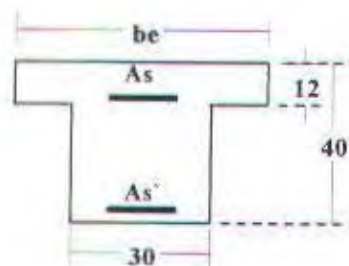
$$\frac{1}{8} q_{ek} Lx^2 = \frac{1}{6} Lx \left[2 \times \frac{1}{8} q Lx^2 + 3 \times \frac{1}{4} q Lx (Ly - Lx) \right]$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} q Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

4.2.2 Perhitungan Momen



Gambar 4.7 Momen – momen dan gaya – gaya Melintang



Gambar 4.8 Potongan Melintang Balok Anak

4.3.2.1 Perhitungan Momen Sebelum Komposit

- q sendiri balok anak = $1.2 \times 0.28 \times 0.3 \times 2400 = 233.38 \text{ kg/m}$
- sbl komposit pelat = 521.6 kg/m
- ssd komposit pelat = 887.2 kg/m

$$\begin{aligned}
 q_{ek} &= \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times 521.6 \times 1.65 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1.65}{4} \right)^2 \right) \times 2 \\
 &= 811.87 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_{tump} = -1/24 (811.87 + 233.3) \times 4^2 = 696.78 \text{ kgm}$$

$$M_{lap} = -1/8 (811.87 + 233.3) \times 3.3^2 = 1422.74 \text{ kgm}$$

$$V = 1/2 (811.87 + 233.3) \times 4 = 2090.34 \text{ kg}$$

a. Penulangan Balok Anak Sebelum Komposit

- Dimensi balok anak anak 30/40
- Diameter rencana 20 mm
- Diameter sengkang 10 mm
- Decking 30 mm
- $h' = 400 - 120 - 30 - 10 - 19/2 = 230.5 \text{ mm}$
- $d' = 30 + 10 + 19/2 = 50.5 \text{ mm}$

Tulangan Tumpuan

$$M_{tump} = 6967800 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{6967800}{0.8 \times 300 \times 230.5^2} = 0.57 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.57}{320}} \right] = 0.0018$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044$$

$$\text{diambil } \rho_{\min} = 0.0044 \dots \dots \dots \rho < \rho_{\min}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0.0044 \times 300 \times 230.5$$

$$= 303 \text{ mm}^2$$

$$\text{dipakai 2D19 (566.7 mm}^2 \text{)}$$

Tulangan Lapangan

$$M_{lap} = 14227400 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{14227400}{0.8 \times 300 \times 230.5^2} = 1.58 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 1.58}{320}} \right] = 0.0051$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044$$

diambil $\rho = 0.0051$ $\rho > \rho_{\min}$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0051 \times 300 \times 230.5 \\ &= 351.9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipakai 2D19.5 (566.7 mm²)

4.5.3.2 Perhitungan Momen Sesudah Komposit

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \quad \text{..... } L = 4 \text{ m}$$

$$= \frac{1}{2} \times 887.2 \times 1.65 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1.65}{4} \right)^2 \right) \times 2$$

$$= 1380.933 \text{ kgm}$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \quad \text{..... } L = 3 \text{ m}$$

$$= \frac{1}{2} \times 887.2 \times 1.65 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1.65}{3} \right)^2 \right) \times 2$$

$$= 1316.419 \text{ kgm}$$

momen dan gaya lintang disesuaikan dengan tabel PBI 1971

$$M_{tump} = -1/24 (1316.4 + 233.3) \times 3^2 = 581.13 \text{ kgm}$$

$$M_{lap_1} = -1/12 (1316.4 + 233.3) \times 3^2 = 2066.27 \text{ kgm}$$

$$M_{lap_2} = -1/14 (1380.9 + 233.3) \times 4^2 = 1844.8 \text{ kgm}$$

$$V_1 = 1/2 (1316.4 + 233.3) \times 3 = 2324.55 \text{ kg}$$

$$V_2 = 1/2 (1380.9 + 233.3) \times 4 = 2421.3 \text{ kg}$$

b. Penulangan Balok Sesudah Komposit

- Dimensi balok anak 30/40
- Diameter rencana 20 mm
- Diameter sengkang 10 mm
- Decking 30 mm
- $h' = 400 - 30 - 10 - 19/2 = 350.5 \text{ mm}$
- $d' = 30 + 10 + 19/2 = 50.5 \text{ mm}$

Tulangan Tumpuan

$$M_{tump} = 5811300 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{5811300}{0.8 \times 300 \times 350.5^2} = 0.32 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.32}{320}} \right] = 0.001$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044$$

$$\text{diambil } \rho_{\min} = 0.0044 \dots\dots\dots \rho < \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0044 \times 300 \times 350 \\ &= 462 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipakai 2D19 (566.7 mm²)

Tulangan Lapangan

$$M_{lap} = 20662700 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{20662700}{0.8 \times 300 \times 350^2} = 0.904 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.904}{320}} \right] = 0.0022$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044$$

$$\text{diambil } \rho = 0.0044 \dots\dots\dots \rho < \rho_{\min}$$

b. Penulangan Balok Sesudah Komposit

- Dimensi balok anak 30/40
- Diameter rencana 20 mm
- Diameter sengkang 10 mm
- Decking 30 mm
- $h' = 400 - 30 - 10 - 19/2 = 350.5 \text{ mm}$
- $d' = 30 + 10 + 19/2 = 50.5 \text{ mm}$

Tulangan Tumpuan

$$M_{tump} = 5811300 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{5811300}{0.8 \times 300 \times 350.5^2} = 0.32 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.32}{320}} \right] = 0.001$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044$$

$$\text{diambil } \rho_{\min} = 0.0044 \dots \dots \dots \rho < \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0044 \times 300 \times 350 \\ &= 462 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipakai 2D19 (566.7 mm²)

Tulangan Lapangan

$$M_{lap} = 20662700 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{20662700}{0.8 \times 300 \times 350^2} = 0.904 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.904}{320}} \right] = 0.0022$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044$$

$$\text{diambil } \rho = 0.0044 \dots \dots \dots \rho < \rho_{\min}$$

4.2.3.1 Tulangan Geser Sebelum Komposit

$$V_u = 2090 \text{ kg}$$

$$d = 400 - 120 - 30 - 10 - 19/2 = 230.5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 1/6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 230.5 \\ &= 62988.1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 62988.1 = 37792.9 \text{ N}$$

$$V_u < \phi V_c \text{ jarak tulangan dipasang praktis}$$

$$\text{Syarat } \leq d/2 = 230/2 = 115 \text{ mm}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{dipasang } s = 110 \text{ mm}$$

4.4.2 Tulangan Geser Sesudah Komposit

$$V_u = 24213 \text{ N}$$

$$d = 400 - 30 - 10 - 20/2 = 350 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 1/6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 350 = 95851.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 95851.4 = 57510.9 \text{ N}$$

$$V_u < \phi V_c \text{ jarak tulangan dipasang praktis}$$

$$\text{Syarat } \leq d/2 = 350/2 = 175 \text{ mm}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$\text{dipasang } s = 175 \text{ mm}$$

4.5 Perencanaan Tangga

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif, baik konstruksi maupun perletakannya. Konstruksi tangga dapat direncanakan sebagai balok tipis, pelat (shell) maupun konstruksi balok dan pelat. Perbedaan asumsi ini akan menentukan besarnya gaya – gaya reaksi yang akan terjadi pada konstruksi tangga tersebut.

Berdasarkan persyaratan PPTGIUG 1983, unsur – unsur non struktur hendaknya dipisahkan dari strukturnya, agar unsur non struktur tersebut tidak mempengaruhi kekakuan struktur utamanya.

Analisa gaya dalamnya dengan memakai perencanaan struktur statis tertentu, perletakana tangga dapat diasumsikan sebagai sendi – sendi, sendi – rol maupun jepit – jepit. Perbedaan asumsi ini akan menentukan cara penulangan dan konsentrasi penulangan konstruksinya serta pengaruhnya terhadap keseluruhan.

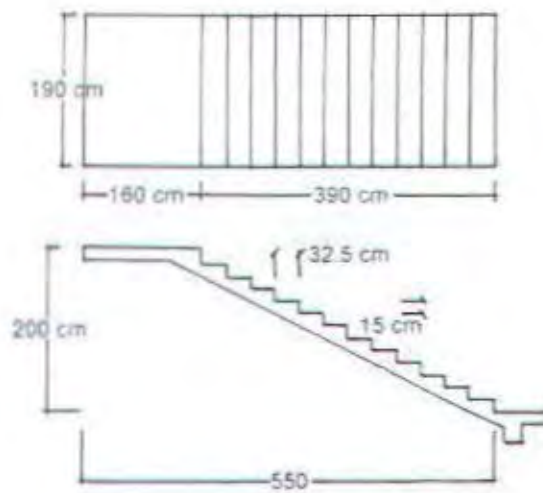
Struktur tangga dimodelkan sebagai frame dua dimensi dengan perletakan sendi serta rol. Pelaksanaan di lapangan dilakukan dengan cor setempat, termasuk juga balok pada tumpuan.

Data – data perencanaan :

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

- o Tebal pelat tangga dan bordes rencana = 15 cm
- o Tinggi antar lantai = 400 cm
- o Panjang bordes = 160 cm
- o Panjang tangga = 390 cm
- o Lebar tangga = $400 (2 \times 190)$
- o Banyaknya injakan = 12 buah
- o Tinggi injakan (t) = 15 cm
- o Lebar injakan (l) = 32.5 cm
- o Jarak horisontal = $32.5 \times 12 = 190 \text{ cm}$
- o Jarak vertikal = 15×12
= 180 + 20 cm untuk tinggi bordes
- o Sudut kemiringan tangga (α) = $\text{arc tan } \frac{15}{32.5} = 24.77^\circ < 45^\circ$



Gambar 4.11 Gambar tangga

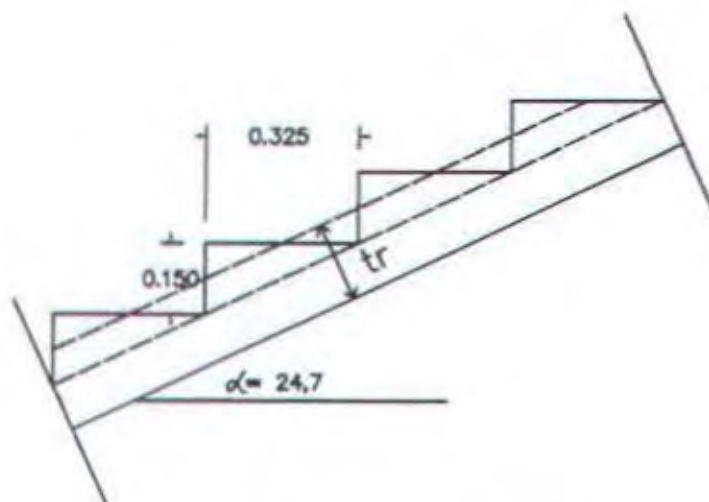
- Perhitungan tebal pelat rata – rata (tr) :

$$\text{Arc tan} \left[\frac{15}{32.5} \right] = \text{Arc cos} \left[\frac{x}{7.5} \right]$$

$$x = 7.5 \times \cos 24.77$$

$$x = 6.8 \text{ cm} \approx 7 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat rata – rata} &= \text{tebal pelat tangga} + x \\ &= 15 + 7 \\ &= 22 \text{ cm} \end{aligned}$$



Gambar 4.12 Tebal rata – rata tangga

Pembebanan tangga dan bordes

Beban – beban pada tangga meliputi berat sendiri ditambah beban hidup merata diatasnya.

1. Pelat tangga

- Beban mati

$$\text{- Pelat tangga} = \frac{0.22 \times 2400}{\cos 24.77^\circ} = 528 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Spesi + tegel} = 1 \times (21 + 24) = 45 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Sandaran} = \frac{50 \text{ kg/m}^2}{623 \text{ kg/m}^2}$$

- Beban hidup = 300 kg/m²

$$\text{Didapatkan : } q_u = 1.2DL + 1.6LL$$

$$= 1.2 \times 623 + 1.6 \times 300$$

$$= 1227.6 \text{ kg/m}^2$$

2. Pelat bordes

- Beban mati

$$\text{- Pelat tangga} = 0.15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Spesi + tegel} = 1 \times (21 + 24) = 45 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Sandaran} = \frac{50 \text{ kg/m}^2}{455 \text{ kg/m}^2}$$

- Beban hidup = 300 kg/m²

$$\text{Didapatkan : } q_u = 1.2DL + 1.6LL$$

$$= 1.2 \times 455 + 1.6 \times 300$$

$$= 1026 \text{ kg/m}^2$$

4.5.2 Analisa Gaya – gaya dalam

$$q_1 = 1026 \text{ kg/m}^2 \times 1.9 \text{ m} = 1949 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 1227.6 \text{ kg/m}^2 \times 1.9 \text{ m} = 2332.44 \text{ kg/m}$$

$$\Sigma MB = 0 \dots \approx VA \times 5.5 - 1949 \times 1.6 \times \left(3.9 + \frac{1.6}{2}\right) - 2332.44 \times 3.9 \times \frac{3.9}{2}$$

$$= 5.5 VA - 14656.48 - 17737.9$$

$$V_A = 5889.9 \text{ kg}$$

$$\Sigma V = 0 \quad V_A + V_B - q_1 \times 1.6 - q_2 \times 3.9 = 0$$

$$5889.9 + V_B - 1949 \times 1.6 - 2332.4 \times 3.9 = 0$$

$$V_B = 6324.9 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad = -V_B \times 5.5 + 1949 \times 1.6 \times \frac{1.6}{2} + 2332.4 \times 3.9 \times (1.6 + \frac{3.9}{2}) + H_B \times 2$$

$$H_B = (-6324.9 \times 5.5 + 1949 \times 1.6 \times 0.8 + 2332.44 \times 3.9 \times 3.55) / 2$$

$$= 0.006 \approx 0 \text{ kg}$$

$$\Sigma H = 0 \quad \dots H_B = 0 \text{ kg}$$

➤ **Pelat Bordes A – C**

$$\text{Panjang} = 1.60 \text{ m}$$

a. Gaya Momen (M)

$$Mx_1 = V_A \times x_1 - \frac{1}{2} \times q_1 \times x_1^2$$

$$\text{Momen maksimum bila : } \frac{\partial Mx_1}{\partial x_1} = 0 \rightarrow V_A - q_1 \cdot x_1 = 0$$

$$x_1 = V_A / q_1 = 5889.9 / 1949.9 = 3.02 \text{ m} < 1.60 \text{ m} \dots \text{tidak mungkin}$$

maka momen maksimum terjadi di titik c :

$$x_1 = 1.60 \text{ m} \rightarrow M_{\max} = V_A \times 1.60 - 1/2 \times 1949 \times 1.60^2$$

$$= 6929.3 \text{ kgm}$$

$$\text{Titik A} = \text{Momen A} = 0 \text{ kgm}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$Dx = V_A - q_1 \cdot x_1$$

$$= 5889.9 - 1949 \cdot x_1$$

$$\text{Titik A; } x_1 = 0 \dots D_A = 5889.9 \text{ kg}$$

$$\text{Titik C; } x_1 = 2 \dots D_A = 1991.9 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

$$\text{Titik A; } N_A = 0 \text{ kg}$$

$$\text{Titik C; } N_A = 0 \text{ kg}$$

➤ **Pelat Tangga C – B**

Panjang = 3.90 m

a. Gaya Momen (M)

$$\begin{aligned}MX_2 &= V_A \times (1.6 + X_2) - q_1 \times 1.6 \times (0.8 + X_2) - \frac{1}{2} \times q_2 \times X_2^2 \\&= 1.6 \times V_A - 1.28 \times q_1 \times X_2 - \frac{1}{2} \times q_2 \times X_2^2\end{aligned}$$

maksimum bila : $\frac{\partial Mx_2}{\partial x_2} = 0 \rightarrow V_A - 1.6 \times q_1 - q_2 \times X_2 = 0$

$$X_2 = \frac{V_A - 1.25 \times q_1}{q_2}$$

$$= \frac{5889.9 - 1.6 \times 1949}{2332.4}$$

$$= 1.19 \text{ m}$$

maka momen maksimum terjadi di titik $X_2 =$

$$M_{\max} = 1.6 \times V_A - 1.28 \times q_1 - \frac{1}{2} \times q_2 \times X_2$$

$$= 1.6 \times 5889.9 - 1.28 \times 1949 - \frac{1}{2} \times 2332.4 \times 1.19$$

$$= 5529.9 \text{ kgm}$$

Titik B = 0 kgm

Titik C = 2731.5 kgm

b. Gaya Lintang (D)

$$\text{Titik C} = D_c = 1991.9 \times \sin 24.77 = 834.59 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B} = D_b = 834.59 - 2332.4 \times \sin 24.77 \times 3.9 = -2976.6 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

$$\text{Titik C} : N_c = 1991.9 \times \cos 24.77 = 1808.64 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B} : N_b = 1808.64 - 2332 \cos 24.77 \times 3.9 = -6450 \text{ kg}$$



4.6.1 Penulangan Lentur Tangga

a. Penulangan lentur Pelat Tangga

Penulangan Lentur arah x

$$M_{\text{mak}} = 5529.9 \text{ Nmm}$$

Direncanakan tulangan diameter 16 mm

$$d = 220 - 20 - 16/2 = 192 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{M_{\text{mak}}}{\phi} = \frac{55299000}{0.8} = 69123750 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{69123750}{1000 \times 192^2}$$

$$= 1.87 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{320}{0.85 \cdot 30}$$

$$= 12.55$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\}$$

$$= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12.55 \cdot 1.87}{320}} \right\}$$

$$= 0.006 > \rho_{\text{min}} = 0.0044$$

Di pakai $\rho = 0.006$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_x$$

$$= 0.006 \cdot 1000 \cdot 192$$

$$= 1166.49 \text{ mm}^2$$

Dipasang D16 – 175 mm

➤ **Penulangan Lentur arah y**

Direncanakan sebagai pelat satu arah maka penulangan arah y adalah tulangan pembagi dengan jumlah tulangan

$$\begin{aligned}\text{Tulangan pembagi} &= 0.002 \times A_s \\ &= 0.002 \times 1000 \times 192 \\ &= 384 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipasang D10 – 150 mm (A_s ada = 523.33 mm^2)

b. Penulangan lentur Pelat Bordes

Penulangan Lentur arah x

$$M_{\text{mak}} = 69293000 \text{ Nmm}$$

Direncanakan tulangan diameter 16 mm

$$d = 220 - 20 - 16/2 = 192 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{\text{mak}}}{\phi} \\ &= \frac{69293000}{0.8} \\ &= 86616250 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{86616250}{1000 \times 192^2} \\ &= 2.34 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{320}{0.85 \cdot 30} \\ &= 12.55\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\} \\ &= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12.55 \cdot 2.34}{320}} \right\}\end{aligned}$$

$$= 0.0076 > \rho_{\min} = 0.0044$$

Di pakai $\rho = 0.0076$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0076 \cdot 1000 \cdot 192 \\ &= 1475.11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang D16 – 140 mm ($A_s = 1607.7 \text{ mm}^2$)

➤ Penulangan Lentur arah y

Direncanakan sebagai pelat satu arah maka penulangan arah y adalah tulangan pembagi dengan jumlah tulangan

$$\begin{aligned} \text{Tulangan pembagi} &= 0.002 \times A_s \\ &= 0.002 \times 1000 \times 150 \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang D10 – 250 mm ($A_s \text{ ada} = 314 \text{ mm}^2$)

4.6.2 Penulangan Geser Tangga

a. Penulangan geser bordes

$$V_u = 5889.9 \text{ kg} = 58899 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b w d \dots\dots \text{SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.4.3}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0.6 \times 1/6 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 192 \\ &= 105162.7 \text{ N} = 105.16 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c > V_u = N \dots\dots\dots \text{tidak perlu tulangan geser}$$

b. Penulangan geser pelat Tangga

$$V_u = \text{kg} = 2976.5 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b w d \dots\dots \text{SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.4.3}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0.6 \times 1/6 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 192 \\ &= 105162.7 \text{ N} = 105.16 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c > V_u = N \dots\dots\dots \text{tidak perlu tulangan}$$

Untuk seluruh elemen – elemen pada pelat tangga didapatkan bahwa gaya geser yang terjadi adalah di bawah kekuatan geser beton sehingga tidak diperlukan tulangan geser untuk menambah kekuatan.

BAB V

**ANALISA
STRUKTUR UTAMA**

BAB V

ANALISA STRUKTUR UTAMA

5.1. Umum

Didalam analisa struktur, struktur utama merupakan struktur yang kekakuannya mempengaruhi perilaku dari struktur gedung tersebut. Struktur utama berfungsi menahan beban baik beban dari gravitasi maupun beban arah lateral (beban gempa). Komponen struktur ini terdiri dari kolom, balok induk dan shearwall.

Didalam analisa struktur utama Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya ini, pemodelan struktur didasarkan atas peraturan UBC 1997 dengan mempergunakan **Building Frames System**.

5.2 Data – data perencanaan

Perencanaan Struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya ini sebagai berikut :

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| o Fungsi Bangunan | = Perkantoran |
| o Tinggi Bangunan | = 32 m |
| o Jumlah Tingkat | = 8 m |
| o Tinggi Tiap Tingkat | = 4 m |
| o Jenis Bangunan | = Beton Bertulang |
| o Mutu Beton (f_c) | = 30 Mpa |
| o Mutu Baja Tulangan Utama (f_y) | = 320 Mpa |
| o Mutu Baja Tulangan Sengkang | = 320 Mpa |
| o Zona Gempa | = 2b |
| o Dimensi Balok Induk Memanjang | = 40/70 |
| o Dimensi Balok Induk Melintang | = 30/50 |
| o Dimensi Balok Anak Melintang | = 30/40 |
| o Tebal Shearwall | = 30 cm |

5.3 Perhitungan Pembebanan Vertikal

Dari Mekanika pembebanan didapatkan beban – beban arah gravitasi dipikul untuk Building Frame System oleh frame, sedangkan analisa memakai program **ETABS**.

Beban – beban :

1. Beban pelat atap

- Beban mati = 372 kg/m^2
- Beban hidup = 250 kg/m^2

Beban –beban langsung diberikan pada program ETABS sesuai type trybutary

2. Beban pelat lantai

- Beban mati = 406 kg/m^2
- Beban hidup = 250 kg/m^2

Beban –beban langsung diberikan pada program ETABS sesuai type trybutary

3. Beban sendiri balok

- Balok induk memanjang 40/70
 $q = 0.4 \times 0.7 \times 2400 = 672 \text{ kg/m}$
- Balok induk melintang 30/50
 $q = 0.3 \times 0.5 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}$
- Balok induk melintang 30/40
 $q = 0.3 \times 0.4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$

4. Beban dinding

$$q = (2 + 2) \times 2400 = 1000 \text{ kg/m}$$

5.4 Perhitungan Gaya Horisontal

5.4.1. Berat pelat atap total

a. Beban mati atap

1. Berat pelat atap total

$$\begin{aligned} W_{(m.g)} &= q \times A \text{ pelat total} \\ &= 372 \times 421.2 = 156686.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

- $$W_{1(l,4)} = q \times A \text{ pelat total}$$
- $$= 372 \times 118.8 = 44193.6 \text{ kg}$$
2. $W_{2(l,9)} = (0.4 \times 0.7 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 660 \text{ cm})$
- $$= 672 \times 39.6 = 26611.2 \text{ kg}$$
- $$W_{2(l,4)} = (0.4 \times 0.7 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 660 \text{ cm})$$
- $$= 672 \times 39.6 = 26611.2 \text{ kg}$$
3. $W_{3(l,9)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 400 \text{ cm})$
- $$= 360 \times 60 = 21600 \text{ kg}$$
- $$W_{3(l,4)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 400 \text{ cm})$$
- $$= 360 \times 12 = 4320 \text{ kg}$$
4. $W_{4(l,9)} = (0.4 \times 0.7 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 560 \text{ cm})$
- $$= 672 \times 100.8 = 67737.6 \text{ kg}$$
5. $W_{5(l,9)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 300 \text{ cm})$
- $$= 360 \times 30 = 10800 \text{ kg}$$
- $$W_{5(l,4)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 300 \text{ cm})$$
- $$= 360 \times 6 = 2160 \text{ kg}$$
6. $W_{6(l,9)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 400 \text{ cm})$
- $$= 288 \times 72 = 20736 \text{ kg}$$
- $$W_{6(l,4)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 400 \text{ cm})$$
- $$= 672 \times 39.6 = 5184 \text{ kg}$$
7. $W_{7(l,9)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 300 \text{ cm})$
- $$= 288 \times 24 = 6912 \text{ kg}$$
- $$W_{7(l,4)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 300 \text{ cm})$$
- $$= 288 \times 4 = 1152 \text{ kg}$$
8. $W_{8(l,9)} = \text{Berat total kolom}$
- $$= 0.80 \times 0.80 \times 2 \times 2400 \times 30$$
- $$= 92160 \text{ kg}$$
- $$W_{8(l,4)} = \text{Berat total kolom}$$
- $$= 0.35 \times 0.35 \times 2 \times 2400 \times 6$$
- $$= 3528 \text{ kg}$$
9. $W_9 = \text{Berat total shearwall}$
- $$= A \text{ total shearwall} \times \text{tinggi shearwall yang dipikul} \times 2400$$

$$= 9.84 \times 2 \times 2400$$

$$= 47232 \text{ kg}$$

$$10. W_{(10)(9)} = \text{Berat total dinding}$$

$$= q \times \text{tinggi dinding yang dipikul} \times \text{panjang total dinding}$$

$$= 250 \times 2 \times 104.8$$

$$= 52400 \text{ kg}$$

$$W_{(10)(4)} = \text{Berat total dinding}$$

$$= q \times \text{tinggi dinding yang dipikul} \times \text{panjang total dinding}$$

$$= 250 \times 2 \times 31.2$$

$$= 15600 \text{ kg}$$

berat mati total atap 9

$$= 156686.4 \text{ kg} + 26611.2 \text{ kg} + 21600 \text{ kg} + 67737.6 \text{ kg} + 10800 \text{ kg} + 20736 \text{ kg}$$

$$+ 6912 \text{ kg} + 92160 \text{ kg} + 47232 + 52400 = 502875.2 \text{ kg}$$

berat mati total atap 4

$$= 44193.6 \text{ kg} + 26611.2 \text{ kg} + 4320 \text{ kg} + 2160 \text{ kg} + 5184 \text{ kg} + 1152 \text{ kg}$$

$$+ 3528 + 15600 = 102748.8 \text{ kg}$$

b. Beban hidup atap

$$W_{\text{hidup total atap lt.9}} = \text{koef. reduksi} \times q \times A_{\text{total pelat atap}}$$

$$= 0.5 \times 421.2 \times 100$$

$$= 21060 \text{ kg}$$

$$W_{\text{hidup total atap lt.4}} = \text{koef. reduksi} \times q \times A_{\text{total pelat atap}}$$

$$= 0.5 \times 118.8 \times 100$$

$$= 4140 \text{ kg}$$

$$W_{\text{total atap lt. 9}} = 21060 + 502875.2 = 453264.6 \text{ kg}$$

$$W_{\text{total atap lt. 4}} = 4140 + 102748.8 = 106888.8 \text{ kg}$$

5.4.2. Berat pelat lantai total

a. Beban mati lantai

Berat pelat lantai total

$$1. W_{(1)(1-8)} = q \times A_{\text{pelat lantai total}}$$

$$= 406 \times 421.6 = 171007.2 \text{ kg}$$

- $$W_{1(l.1-8)} = q \times A \text{ pelat lantai total}$$
- $$= 406 \times 118.8 = 48232.8 \text{ kg}$$
2. $W_{2(l.1-8)} = (0.4 \times 0.7 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 660 \text{ cm})$
 $= 672 \times 39.6 = 26611.2 \text{ kg}$
 - $W_{2(l.1-3)} = (0.4 \times 0.7 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 660 \text{ cm})$
 $= 672 \times 39.6 = 26611.2 \text{ kg}$
 3. $W_{3(l.1-8)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 560 \text{ cm})$
 $= 360 \times 134.4 = 48383 \text{ kg}$
 4. $W_{4(l.1-8)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 400 \text{ cm})$
 $= 360 \times 60 = 21600 \text{ kg}$
 - $W_{4(l.1-3)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 400 \text{ cm})$
 $= 360 \times 12 = 4320 \text{ kg}$
 5. $W_{5(l.1-8)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 300 \text{ cm})$
 $= 360 \times 30 = 10800 \text{ kg}$
 - $W_{5(l.1-3)} = (0.3 \times 0.5 \times 2400) \times (\text{panjang total balok induk } L = 300 \text{ cm})$
 $= 360 \times 6 = 2160 \text{ kg}$
 6. $W_{6(l.1-8)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 400)$
 $= 288 \times 48 = 13284 \text{ kg}$
 - $W_{6(l.1-3)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 400)$
 $= 288 \times 12 = 3456 \text{ kg}$
 7. $W_{7(l.1-8)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 300)$
 $= 288 \times 24 = 6912 \text{ kg}$
 - $W_{7(l.1-3)} = (0.3 \times 0.4 \times 2400) \times (\text{panjang total balok anak } L = 300)$
 $= 288 \times 6 = 1728 \text{ kg}$
 8. $W_{8(l.1-8)} = \text{Berat total kolom}$
 $= 0.8 \times 0.8 \times 2400 \times 4 \times 20$
 $= 122880 \text{ kg}$
 - $W_{8(l.1-3)} = \text{Berat total kolom}$
 $= 0.8 \times 0.8 \times 2400 \times 4 \times 5$
 $= 30720 \text{ kg}$
 9. $W_9 = \text{Berat total shearwall}$
 $= A \text{ total shearwall} \times \text{tinggi shearwall yang dipikul} \times 2400$

$$= 9.84 \times 4 \times 2400$$

$$= 94464 \text{ kg}$$

$$10. W_{10(lt.1-8)} = \text{Berat total dinding}$$

$$= q \times \text{tinggi dinding yang dipikul} \times \text{panjang total dinding}$$

$$= 250 \times 4 \times 104.8$$

$$= 104800 \text{ kg}$$

$$W_{10(lt.1-3)} = \text{Berat total dinding}$$

$$= q \times \text{tinggi dinding yang dipikul} \times \text{panjang total dinding}$$

$$= 250 \times 4 \times 31.2$$

$$= 31200 \text{ kg}$$

berat mati total lantai 1-8

$$= 171007.2 \text{ kg} + 26611.2 \text{ kg} + 48383 \text{ kg} + 21600 \text{ kg} + 10800 \text{ kg} +$$

$$13284 \text{ kg} + 6912 \text{ kg} + 122880 \text{ kg} + 94464 \text{ kg} + 104800 \text{ kg}$$

$$= 602741.4 \text{ kg}$$

berat mati total lantai 1-3

$$= 48232.8 \text{ kg} + 26611.2 \text{ kg} + 4320 \text{ kg} + 2160 \text{ kg} + 3456 \text{ kg} + 1728 \text{ kg}$$

$$+ 30720 \text{ kg} + 31200 \text{ kg}$$

$$= 148428 \text{ kg}$$

b. Beban hidup atap

$$W_{\text{hidup total lantai (lt.1-8)}} = \text{koef. reduksi} \times q \times A_{\text{total pelat lantai}}$$

$$= 0.5 \times 250 \times 421.2$$

$$= 52650 \text{ kg}$$

$$W_{\text{hidup total lantai (lt.1-3)}} = \text{koef. reduksi} \times q \times A_{\text{total pelat lantai}}$$

$$= 0.5 \times 250 \times 118.8$$

$$= 14850 \text{ kg}$$

5.5 Perhitungan Gaya Geser Dasar

Semua perhitungan gaya geser dasar dalam perencanaan gaya gempa digunakan UBC 1997. Perhitungan gaya geser dasar ini dipergunakan untuk mengecek gaya gempa yang dihasilkan oleh analisa dinamis, dimana besarnya gaya gempa yang

dihasilkan pada analisa dinamis tidak boleh kurang dari 90% dari perhitungan analisa gempa statis.

Perhitungan gaya gempa dasar sesuai dengan UBC 1997 section 1630.2.1 sebagai berikut :

- Total gaya geser dasar yang bekerja dihitung berdasarkan :

$$V = \frac{C_v \cdot I}{R \cdot T} \times W \quad \text{Persamaan (30 - 4)}$$

- Dimana total gaya geser tidak perlu lebih dari :

$$V \leq \frac{2.5 C_v \cdot I}{R} \times W \quad \text{Persamaan (30 - 5)}$$

- Dimana total gaya geser tidak perlu kurang dari :

$$V \geq 0.11 \cdot C_a \cdot I \cdot W \quad \text{Pers (30 - 6)}$$

Periode perhitungan dasar struktur (T) dapat dilakukan dengan dua metode :

1. Metode A

$$T = C_t \cdot (h_n)^{3/4} \quad \text{Pers (30 - 6) section 1630.2.2 UBC 1997}$$

2. Metode B

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot \delta_i^2 \right) + \left(g \sum_{i=1}^n f_i \cdot \delta_i \right)}$$

Perhitungan T dengan metode A

Dimana $C_t = 0.0488$ for other building

$$\text{Didapatkan } T = 0.0488 \times (32)^{3/4} = 0.656 \text{ dt}$$

- Building frames system (shear wall - concrete) : $R = 5.5, \Omega_0 = 2.8$
- Zona 2b dan tipe tanah Sd : $C_a = 0.28$ tabel 16 - Q UBC 1997
- Zona 2b dan tipe tanah Sd : $C_v = 0.40$ tabel 16 - R UBC 1997
- Perkantoran (Special occupancy structures³) = 1:1
- Zona 2b ($z = 0.2$)

dari data diatas didapatkan :

$$V = \frac{C_v \cdot I}{R \cdot T} \times W = \frac{0.4 \times 1}{5.5 \times 0.656} \times 6293118 = 697684.9 \text{ kg}$$

$$V \leq \frac{2.5C_a I}{R} x W = \frac{2.5 \times 0.44 \times 1}{5.5} \times 6293118 = 1258623.6 \text{ kg} \dots (\text{menentukan})$$

$$V \geq 0.11.C_a.I.W = 0.11 \times 0.44 \times 1 \times 6293118 = 304586.9 \text{ kg}$$

5.5.1 Perhitungan Gaya Geser Tiap Lantai

Gaya geser yang telah didapatkan dari perhitungan diatas akan didistribusikan secara vertical ke masing – masing lantai dengan UBC 1997 Section 163.5 dengan perumusan :

$$F_x = \frac{(V - F_1) W_x . h_x}{\sum W_i . h_i} \dots \text{pers. UBC 1997 (30 – 15)}$$

Dimana :

V = gaya geser dasar

F₁ = gaya gempa pada puncak struktur

Karena nilai T < 7 detik maka F₁ = diabaikan = 0

Dengan rumus $F_x = \frac{(V - F_1) W_x . h_x}{\sum W_i . h_i}$ diperoleh gaya geser tiap lantai sebagai berikut :

Table 5.1 Gaya Geser Tiap Lantai

| Lantai | Wi | | Wi gab. | Hi | Wi x Hi | Fx |
|--------|--------|--------|----------|-------|------------|-----------|
| | 9 lt. | 4 lt. | | | | |
| | (kg) | (kg) | (kg) | (m) | Kgm | (kg) |
| 9 | 453264 | | 453264.0 | 32 | 14504448.0 | 150210.49 |
| 8 | 655391 | | 655391.4 | 28 | 18350959.2 | 190045.60 |
| 7 | 655391 | | 655391.4 | 24 | 15729393.6 | 162896.23 |
| 6 | 655391 | | 655391.4 | 20 | 13107828.0 | 135746.86 |
| 5 | 655391 | | 655391.4 | 16 | 10486262.4 | 108597.49 |
| 4 | 655391 | 106889 | 762280.2 | 12 | 9147362.4 | 94731.61 |
| 3 | 655391 | 163278 | 818669.4 | 8 | 6549355.2 | 67826.22 |
| 2 | 655391 | 163278 | 818669.4 | 4 | 3274677.6 | 33913.11 |
| 1 | 655391 | 163278 | 818669.4 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| | | | 6293118 | | 91150286.4 | |

5.6 Perhitungan Analisa Gempa Dinamis

Perhitungan analisa gempa dinamis dihitung langsung menggunakan program ETABS dimana perhitungan gempa dinamis ini mengacu pada UBC 1997 section 1631 sebagai berikut :

- o Respon Spectrum Function

Didalam mendesai respon spectrum function mengacu pada nilai C_a dan C_v dimana tertera pada figure 16-3 UBC 1997, dimana nilai C_a dan C_v direduksi dengan factor pembagi R

- o Respon Spectrum Case

Didalam mendesai respon spectrum case nilai acceleration ordinates sesuai dengan UBC 1997 section 1631.2 haruslah dikalikan dengan kecepatan grafitasi sebesar 9.81 m/det^2 , dengan nilai mempertimbangkan terjadi dumping sebesar 0.05

Tabel 5.2 *Nilai Response Spectrum Case*

$T = 0.656 \text{ det.}$

$C_a = 0.28$

$C_v = 0.4$

| Period | Acceleration | T_s |
|--------|--------------|-------|
| 0 | 0.28 | 0 |
| 0.114 | 0.70 | 3.499 |
| 0.57 | 0.70 | 0.700 |
| 0.8 | 0.50 | 0.500 |
| 1.0 | 0.40 | 0.400 |
| 1.2 | 0.33 | 0.333 |
| 1.4 | 0.29 | 0.285 |
| 1.6 | 0.25 | 0.250 |
| etc. | | |

$$0.25C_a = 0.25 \times 2.8 = 0.7$$

$$T_s = C_v / (2.5C_a)$$

Perhitungan analisa gempa dinamis hendaknya memperhitungkan bahwa jumlah mode yang dimasukkan memepertimbangkan sekurang – kurangnya 90% jumlah partisipasi massa yang dihasilkan masuk kedalam hitungangaya gempa dinamis. Selain itu juga perlu dipenuhi bahwa total reaksi gaya geser dasar yang dihasilkan pada analisa gempa dinamis tidak boleh kurang dari 90% total gaya geser dasar yang dihasilkan pada perhitungan gempa statis, hal ini sesuai dengan yang diisyaratkan dalam UBC 1997 section 1631.5.4.1

Gaya puntir diperhitungkan juga dalam analisa gaya gempa, hal ini ssuai dengan yang diisyaratkan UBC 1997 section 1630.7, kemudian gaya puntir yang dapat dimasukkan sebagai beban gaya yang memutar sumbu di vertikal pusat massa, dimana momen puntir ini diperhtungkan berdasarkan :

1. Momen Torsi akibat kekakuan yang tidak berimpit dengan pusat massa struktur (e_c).
2. Momen Torsi yang terjadi dengan anggapan terjadi pergeseran pusat massa sebesar 5% dari lebar gedung pada masing – masing arah yang ditinjau sesuai UBC 1997 section 1630.6

Tabel 5.3 Momen Torsi Akibat beban gempa arah x di Pusat massa

| | Fx | Letak titik berat | | | M Torsi |
|------|--------|-------------------|-------|----|---------|
| | | x | y | Z | |
| | kg | m | m | M | Kg-m |
| atap | 320837 | 11.715 | 8.985 | 32 | 152542 |
| 8 | 384766 | 11.565 | 9.032 | 28 | 182967 |
| 7 | 329799 | 11.565 | 9.032 | 24 | 152468 |
| 6 | 274832 | 11.565 | 9.032 | 20 | 127056 |
| 5 | 219866 | 11.565 | 9.032 | 16 | 101645 |
| 4 | 191617 | 13.718 | 9.028 | 12 | 86762.8 |
| 3 | 133229 | 13.898 | 9.028 | 8 | 58574.9 |
| 2 | 66614 | 13.898 | 0.028 | 4 | 30065.6 |

Tabel 5.4 Momen Torsi Akibat beban gempa arah y di Pusat massa

| | Fy | Letak titik berat | | | M Torsi |
|------|---------|-------------------|-------|----|---------|
| | | x | y | Z | |
| | kg | m | m | M | Kg-m |
| atap | 20416.3 | 11.715 | 8.985 | 32 | 197730 |
| 8 | 4674.8 | 11.565 | 9.032 | 28 | 240653 |
| 7 | 4007 | 11.565 | 9.032 | 24 | 201897 |
| 6 | 3339.1 | 11.565 | 9.032 | 20 | 168247 |
| 5 | 2671.3 | 11.565 | 9.032 | 16 | 134598 |
| 4 | 2153.3 | 13.718 | 9.028 | 12 | 163590 |
| 3 | 2423.2 | 13.898 | 9.028 | 8 | 117155 |
| 2 | 1211 | 13.898 | 0.028 | 4 | 58578 |

5.7 Pemodelan Struktur

Di dalam perencanaan Tower gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya ini gedung dimodelkan sebagai Building Frame System dengan shearwall. Di dalam pemodelan Building Frame System, shearwall didesain untuk menahan seluruh beban lateral (gaya horizontal) dan frame didesain untuk menahan seluruh beban gravitasi.

Shearwall dan balok kolom akan mengalami translasi yang sama besarnya karena pelat direncanakan sebagai diafragma yang kaku. Sehingga perlu mendesain struktur dimana balok kolom harus didesain untuk tidak runtuh dalam menahan translasi yang besar akibatnya dari beban lateral dan tidak rusak dalam menerima beban gempa yang kecil.

Perhitungan gaya-gaya dalam struktur akan menggunakan bantuan program software analisa struktur ETABS.

Untuk memenuhi persyaratan yang disebut diatas maka struktur dimodelkan menjadi 3 pemodelan, sebagai berikut:

a. Pemodelan I :

- Digunakan untuk mencari gaya dalam frames akibat berat sendiri, beban mati, beban hidup dan gempa
- Dengan analisa dinamis (respon spectra) pada ETABS

b. Pemodelan II :

- Digunakan untuk mencari translasi (Δm) yang ditimbulkan oleh beban lateral
- Digunakan untuk mencari gaya dalam pada shearwall akibat berat sendiri dan beban lateral.
- Dengan analisa dinamis (respon spectra) pada ETABS

c. Pemodelan III :

- Digunakan untuk mencari gaya dalam frames akibat traslasi (Δm) dari pemodelan II, berat sendiri, beban mati dan beban hidup.
- Dengan analisa statis pada ETABS

Di dalam pemodelan I ini ditujukan untuk mendapatkan gaya dalam akibat gravitasi dan gempa. Gaya dalam yang didapatkan nantinya akan dikombinasikan dengan gaya dalam yang dihasilkan pada pemodelan struktur lainnya. Pada pemodelan I kekauan semua elemen tetap ada dengan input beban kombinasi gravitasi dan gempa

Pada pemodelan II ini gaya lateral ini yang terjadi sepenuhnya dipikul oleh LFRS (Lateral Force Resisting System) dalam ini adalah shearwall. Untuk itu maka dari frames NLFRS (Non Lateral Force Resisting System) direduksi, sedangkan kekauan dari shearwall tetap ada sehingg seolah-olah gaya lateral dapat diterima sepenuhnya oleh shearwall.



Pemodelan II ini memiliki dua tujuan yaitu:

1. Untuk mendapatkan besarnya (Δ_m) yang terjadi pada komponen penahanan gaya lateral yaitu shearwall.

$$(\Delta_m) = 0.7 \times R \times \Delta_s$$

Δ_s adalah besarnya output displacements yang dihasilkan.

2. Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam akibat gempa pada struktur NLFRS

Pemodelan ini dimaksudkan bahwa frames harus mampu menerima beban gravitasi pada saat displacement terbesar pada tiap tingkat kearah lateral yang disebabkan oleh gempa, hal ini dimaksudkan bahwa struktur NLFRS tidak boleh runtuh pada saat beban gempa besar terjadi. Untuk itu pada pemodelan III ini struktur memiliki perilaku yang sama dengan pemodelan I namun beban yang bekerja pada struktur adalah joint displacement sebesar Δ_m dari pemodelan II dan beban gravitasi. Pemodelan ini selanjutnya untuk menentukan konsep perhitungan yang bekerja pada struktur NLFRS.

5.8 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur utama didasarkan pada UBC 1997 section 1612.2.1 dan section 1909.2.1 dimana secara umum kombinasi pembebanan yang bekerja adalah sebagai berikut:

1. $1.4D + 1.7L$

2. $1.1 (1.2D + \phi L + 1.0 E)$

$\phi = 1.0$ untuk lantai kepentingan umum 0.5 untuk beban hidup lain

3. $1.1 (0.9D + 1.0E)$

Disamping itu untuk komponen NLFRS dipakai kombinasi .. UBC 1921.7

1. $1.4D + 1.4L + E$

2. $0.9D + E$

Selain kombinasi diatas section 1612.4 UBC mensyaratkan pemakaian kombinasi khusus untuk pembebanan gempa :

1. $1.2D + f_1L + 1.0 E_m$

2. $0.9D + 1.0E_m$

Dimana:

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

$E = \rho E_h + E_v$ Dimana $\rho = 1$

E_h = komponen gaya gempa horizontal yaitu gaya geser dasar (V)

E_v = komponen gaya gempa vertical = $0.5 C_a I D = 0.5 \times 2.8 \times 0.5 \times D = 1.4D + E_h$

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada perencanaan Struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya sebagai berikut:

1. Pada pemodelan I

a. $4D + 1.7L$

b. $1.4D + 1.4L + E = 2.8D + 1.4L + E_h$

c. $0.9D + E = 2.3D + E_h$

d. $1.2D + f_1L + 1.0E_m = 1.2D + 0.5L + 1E_m$

e. $0.9D + 1.0E_m = 2.1D + E_h$

2. Pada pemodelan II

a. $1.2D + f_1L + 1.0E_m = 1.2D + 0.5L + 1E_m$

b. $0.9D + 1.0E_m = 2.1D + E_h$

3. Pada pemodelan III

| COMBO | | | | | | KETERANGAN |
|-------|-----------------|-----|-----|----------------|---|--------------------------------|
| | STATIS VERTIKAL | | | STATIS LATERAL | | |
| | I | II | III | A | B | |
| 1 | 1.4 | 1.7 | | | | 1.4D + 1.7L |
| 2 | 2.8 | 1.4 | 1 | 1 | | 1.4D + 1.7L + E (arah x) |
| 3 | 2.3 | | 1 | | 1 | 1.4D + 1.7L + E (arah y) |
| 4 | 1.2 | 0.5 | 1 | 1 | | 0.9D + E (arah x) |
| 5 | 2.1 | | 1 | | 1 | 0.9D + E (arah y) |
| 6 | 1.2 | 0.5 | 1 | 1 | | 1.2D + fi L + 1.0Em (arah x) |
| 7 | 1.2 | 0.5 | 1 | | 1 | 1.2D + fi L + 1.0Em (arah y) |
| 8 | 2.1 | | 1 | 1 | | 0.9D + 1.0Em (arah x) |
| 9 | 2.1 | | 1 | | 1 | 0.9D + 1.0Em (arah y) |

5.9 Kontrol Periode (T) Getar Alami Struktur

Periode yang didapatkan pertama kali dari perumusan:

$$T_a = C_1 (h_n)^{3/4}$$

Selanjutnya harus ditinjau dengan metode B dengan perumusan:

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2 \right) + \left(g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i \right)}$$

Dimana:

W_i = berat struktur pada lantai i

δ_i = defleksi elastis pada lantai i

g = percepatan gravitasi

fi = gaya gempa pada lantai i

sesuai dengan UBC 1997 section 1630.2.2 bahwa perlu dipenuhi periode yang dihitung dengan analisa dinamis tidak boleh melebihi periode yang dihitung melalui pendekatan (Ta) sebesar Ta + 40% Ta.

Dari analisa struktur yang dilakukan didapatkan nilai δ harga δ tiap tingkat digunakan untuk mendapatkan displacement relatif tingkat (δ_i).

5.9.1 Kontrol Gaya Gempa Dinamis

5.9.1.1 Kontrol partisipasi masa pada gempa dinamis

Sesuai dengan UBC 1997 section 1631.5.2 jumlah mode harus ditentukan sedemikian sehingga jumlah masa yang berpartisipasi di dalam perhitungan gempa dinamis tidak boleh kurang dari 90% dan massa yang ada.

5.9.1.2 Kontrol gaya geser dasar

Pada UBC section 1631.5.4.1 dikatakan bahwa total gaya geser dasar yang bekerja pada analisa dinamis boleh direduksi sehingga nilai geser total yang bekerja tidak boleh kurang dari 90% dari gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisa statis.

5.10 Kontrol Drift Antar Tingkat

Kontrol drift pada perancangan ini menggunakan data displacement pemodelan II, karena displacement serta drift yang dihasilkan lebih besar dari data displacementdrift pada tiap tingkat: $\Delta m = 0.7 R \cdot \Delta s$ pers (30-17) UBC 1997

nilai $R = 5.5$... untuk building frame system

Defleksi Arah x

| | Ds m | Dmaks m | Dm m | Ket. |
|------|---------|------------|---------|------|
| atap | 0.0144 | 0.08 | 0.05544 | ok |
| 8 | 0.0146 | 0.08 | 0.05621 | ok |
| 7 | 0.0143 | 0.08 | 0.05506 | ok |
| 6 | 0.00136 | 0.08 | 0.00524 | ok |
| 5 | 0.0122 | 0.08 | 0.04697 | ok |
| 4 | 0.01 | 0.08 | 0.0385 | ok |
| 3 | 0.007 | 0.08 | 0.02695 | ok |
| 2 | 0.0029 | 0.08 | 0.01117 | ok |

Defleksi Arah y

| | Ds | Dmaks | Dm | Ket. |
|------|---------|-------|---------|------|
| | m | m | m | |
| atap | 0.0037 | 0.08 | 0.01425 | ok |
| 8 | 0.0037 | 0.08 | 0.01425 | ok |
| 7 | 0.0037 | 0.08 | 0.01425 | ok |
| 6 | 0.0035 | 0.08 | 0.01348 | ok |
| 5 | 0.0031 | 0.08 | 0.01194 | ok |
| 4 | 0.0036 | 0.08 | 0.01386 | ok |
| 3 | 0.0027 | 0.08 | 0.0104 | ok |
| 2 | 0.00084 | 0.08 | 0.00323 | ok |

$$D_{\max} = 0.02h_s = 0.02 \times 4 = 0.08 \text{ m}$$

Ds dari Analisa Etabs

$$D_m = 0.7R.D_s$$

BAB VI

**PERENCANAAN
STRUKTUR UTAMA**

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

6.1. Pendahuluan

Gaya – gaya yang didapatkan dari output ETABS akan digunakan dalam perhitungan struktur utama.

Perencanaan struktur utama mengacu pada peraturan UBC 1997, sedangkan pada penulangan mengacu pada SKSNI T-15-1991-03.

6.2. Perencanaan Balok Induk

Didalam UBC 1997 telah dijelaskan bahwa balok dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu balok kolektor elemen yang merupakan bagian dari LFRS dan balok NLFRS.

Pada Perencanaan Struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya ini digunakan balok komposit, dimana balok mendapatkan overtopping saat bersamaan dengan pengecoran pelat.

Pada saat sebelum komposit, balok berbentuk persegi dan memikul beban gravitasi selama pelaksanaan pemasangan pelat pracetak dan pengecoran overtopping. Setelah komposit, balok berbentuk T karena pelat menjadi monolit dengan balok.

6.2.1 Penulangan Balok NLFRS

Pada struktur Building Frames System, balok NLFRS direncanakan hanya menerima gaya gravitasi saja, namun perlu ditinjau pula bahwa balok tidak boleh rusak akibat gempa kecil dan tidak boleh runtuh akibat gempa besar. Sehingga pada perhitungan momen akibat beban gravitasi harus dikombinasikan akibat beban gempa dan pada pemodelan ketiga, selain itu perlu juga diperiksa apakah momen akibat

deformasi kearah lateral melebihi momen akibat gempa. Hal ini hanya dilakukan perencanaan balok sesudah komposit.

6.2.1.1 Penulangan Lentur Sebelum Komposit

Balok precast pada saat sebelum komposit dianggap sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi.

Data – data perencanaan :

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

Dimensi balok induk 40/70

$$L = 660 \text{ cm}$$

Beban – beban :

1. Beban mati

beban diperoleh dari berat sendirinya tanpa dipengaruhi oleh berat topping.

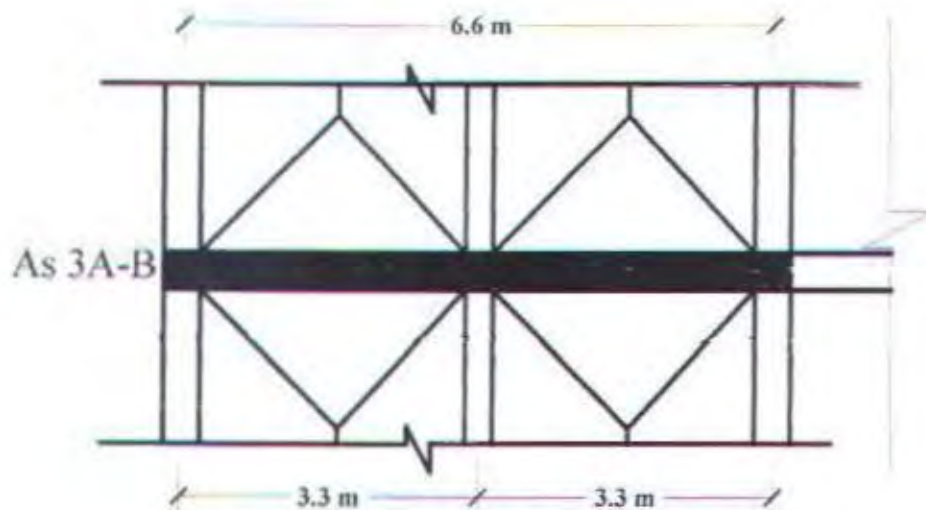
$$\text{➤ Berat sendiri pelat pracetak} = 0.07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{➤ Berat overtopping} = 0.05 \times 2400 = \underline{120 \text{ kg/m}^2} + \\ 288 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban hidup = 200 kg/m²

$$\begin{aligned} \text{qek mati} &= (1/4 \times q \times Lx) \times 2 \\ &= (1/4 \times 288 \times 3.3) \times 2 \\ &= 475.2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{qek hidup} &= (1/4 \times q \times Lx) \times 2 \\ &= (1/4 \times 200 \times 3.3) \times 2 \\ &= 330 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 6.1 Tributary area balok

- q mati total = $475.2 + 0.58 \times 0.4 \times 2400 = 1032 \text{ kg/m}$
- q hidup total = $330 + 0.58 \times 0.4 \times 2400 = 886.9 \text{ kg/m}$

kombinasi pembebanan

$$Q_u = 1.2 \times 1032 + 1.6 \times 886.9 = 2657.3 \text{ kg/m}$$

Contoh perhitungan untuk balok As 3A-B

- $L = 6.6 \text{ m}$
- Dimensi 40/70
- $f_c' = 30 \text{ Mpa}$
- $f_y = 320 \text{ Mpa}$
- Diameter rencana 19 mm

Untuk f_c' sampai dengan 30 MPa, β_1 diambil 0.85 (PB '89)

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044 \quad \text{.....(Ps. 10.5.1. PB '89)}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \times \frac{(600)}{(600 + f_y)} \quad \text{.....(Ps. 8.4.3. PB '89)}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85_1 \cdot 30}{320} \times \frac{(600)}{(600 + 320)} = 0,044$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots (\text{Ps. 10.5.1. PB '89})$$

$$= 0,75 \times 0,044$$

$$= 0,033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

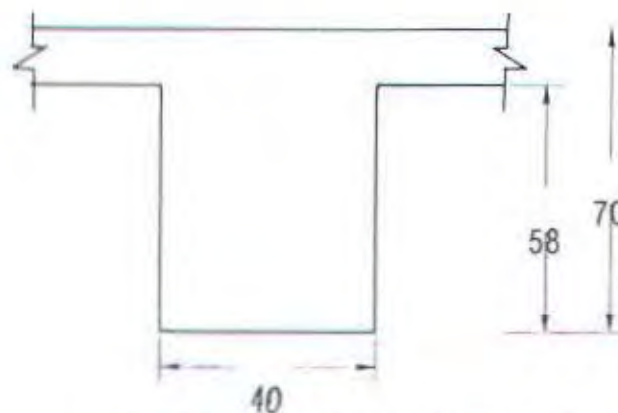
$$= \frac{320}{0,85 \cdot 30}$$

$$= 12,55$$

$$\text{Mu lapangan} = 1/8 \times q \times l^2 = 1/8 \times 2657,3 \times 6,6^2 = 14468,99 \text{ kg.m}$$

$$= 144689985 \text{ Nmm}$$

Karena perletakan sebelum komposit dianggap sendi maka momennya adalah nol, namun tetap diberi penulangan sebesar setengah dari tulangan lapangan.



Gambar 6.2 Tinggi efektif balok pracetak

$$d = 700 - 120 - 40 - 12 - (1/2 \times 19) = 530,5 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{144689985}{0,8 \times 400 \times 530,5^2} = 1,61$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right\} \\ &= \frac{1}{12.55} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12.55 \cdot 1.61}{320}} \right\} \\ &= 0.0062 > \rho_{\text{min}} = 0.0044\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.033$$

Di pakai $\rho = 0.0062$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_x$$

$$= 0.0062 \cdot 400 \cdot 530.5$$

$$= 1336.9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan Lapangan} = 5D19 = 1417.4 \text{ mm}^2$$

6.2.1.2 Penulangan Lentur Setelah Komposit

Penulangan tulangan :

- Rasio tulangan balance (ρ_b) = 0,044
- Rasio tulangan maksimum (ρ_{mak}) = 0,033
- Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0,0044
- Rasio antara baja dan beton (m) = 12,55

Contoh Perhitungan

Dengan memakai program ETABS diperoleh :

Dimensi balok induk 40/70 cm pada lantai 6 As3 B – C bentang balok 5.6 m

$$M_{\text{tump}} = 30886 \text{ kgm} = 308860000 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{lap}} = 32543 \text{ kgm} = 325430000 \text{ Nmm}$$

Tulangan tumpuan

- Tulangan tumpuan atas

Balok dianggap persegi

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d = 700 - 40 - 12 \cdot (19/2) = 638.5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{308860000}{0.8 \cdot 400 \cdot 638.5^2} = 2.37$$

$$Rn = \frac{308860000}{0.8 \times 400 \times 638.5^2} = 2.37$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.55} \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 2.37}{320}} = 0.0077 > \rho_{min} = 0.0044$$

$$As_{perlu} = 0.0077 \times 400 \times 638.5 = 1988.7 \text{ mm}^2$$

$$Pakai 8D19 = 2267.1 \text{ mm}^2$$

- Tulangan tumpuan bawah

$$As_{perlu} = 0.0039 \times 400 \times 638.5 = 996.06 \text{ mm}^2$$

$$Pakai 4D19 = 1133.5 \text{ mm}^2$$

➤ Cek kondisi tulangan tekan :

$$(\rho - \rho') \leq 0.85 \times \beta \times \frac{f_c' \times d_l'}{f_y \times d} \times \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$(0.0077 - 0.00385) \leq 0.85 \times 0.85 \times \frac{30 \times 61.5}{320 \times 638.5} \times \left(\frac{600}{600 - 320} \right)$$

$$0.00385 < 0.0139 \dots \text{ tulangan tekan tidak leleh}$$

Tulangan lapangan

$$bel = \frac{1}{4} L = 1650 \text{ mm}$$

$$be_2 = 16.t + bw = 16 \times 120 + 400 = 2320 \text{ mm}$$

$$be_3 = L_n - bw = 6600 - 400 = 6200 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } b = be = 1650 \text{ mm}$$

$$d = 638.5 \text{ mm}$$

$$d' = 61.5 \text{ mm}$$

$$\rho' = 0.5 \times \rho$$

- Tulangan lapangan atas

$$Mu = 22543 \text{ kgm} = 225430000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{225430000}{0.8 \times 400 \times 638.5^2} = 0.1720$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.55} \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.172}{320}} = 0.00172 < \rho_{min} = 0.004375$$

$$As_{perlu} = 0.0044 \times 400 \times 638.5 = 1123.76 \text{ mm}^2$$

$$Pakai 4D19 = 1133.52 \text{ mm}^2$$

- Tulangan lapangan bawah

$$As_{perlu} = 0.0022 \times 400 \times 638.5 = 591.88 \text{ mm}^2$$

$$Pakai 3D19 = 850.16 \text{ mm}^2$$

➤ Cek kondisi tulangan tekan :

$$(\rho - \rho') \leq 0.85 \times \beta \times \frac{f_c' \times d l'}{f_y \times d} \times \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$(0.0082 - 0.00425) \leq 0.85 \times 0.85 \times \frac{30 \times 61.5}{320 \times 638.5} \times \left(\frac{600}{600 - 320} \right)$$

$$0.00425 < 0.0139 \dots \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

sebagai pendekatan awal untuk untuk kontrol tegangan kompatibel di seluruh penampang taraf kuat rancang apabila tulangan tekan tidak leleh digunakan rumus sebagai berikut :

$$f_s = E_s \times \epsilon' s < f_y$$

dimana :

$$E_s = 2000000 \text{ MPa}$$

$$\epsilon' s = 0.003 \times \left(1 - \frac{0.85 \times \beta \times f_c'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right) < f_y$$

$$f_s = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times 0.85 \times 30}{(0.0082 - 0.00425) \times 320} \times \frac{61.5}{638.5} \right)$$

$$= 307.2 < 320 \text{ MPa} \dots \text{ok}$$

ratio tulangan ijin untuk penampang bertulangan rangkap :

$$\rho \leq 0.75 \times \rho_b \times \rho' \frac{f_s}{f_y}$$

$$\rho \leq 0.75 \times 0.044 + 0.00425 \times \frac{307.2}{320}$$

$$\rho = 0.00738$$

$$a = \frac{As \cdot f_y - As' \cdot f_s'}{0.85 f_c' b e} = \frac{2093.3 \times 320 - 1133.54 \times 307.2}{0.85 \times 30 \times 1650}$$

$$= 7.64 \text{ mm} < t \text{ pelat} = 120 \text{ mm}$$

kontrol Mu :

$$\begin{aligned}
 Mu &= 0.8 \times \left[(A_s \times f_y - A_s' \times f_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_s (d - d') \right] \\
 &= 0.8 \times \left[(2093.3320 - 1133.543072) \times \left(638.5 - \frac{7.64}{2} \right) + 2093.3320 \times (638.5 - 61.5) \right] \\
 &= 5.751 \times 10^8 \text{ Nmm} > Mu = 3.254 \times 10^8 \text{ Nmm} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

6.2.1.4 Penulangan Lentur Akhir

Perhitungan Tulangan lentur akhir ini dengan membandingkan kondisi antar sebelum dan sesudah komposit. Luasan tulangan terbesar dipakai dalam tulangan akhir yang dibutuhkan.

- Dimensi balok induk = 40/70
- Bentang = 6.6 m
- Lantai = 6

| Kondisi | lapangan | Tumpuan |
|----------|----------------|----------------|
| Sebelum | Tul atas - | Tul atas - |
| Komposit | Tul bawah 5D19 | Tul bawah - |
| Sesudah | Tul atas 2D19 | Tul atas 8D19 |
| Komposit | Tul bawah 3D19 | Tul bawah 4D19 |

Didapat penulangan lentur balok induk :

➤ daerah lapangan

Tulangan atas = 3D19

Tulangan bawah = 5D19

➤ daerah tumpuan

Tulangan atas = 8D19

Tulangan bawah = 4D19

6.2.2 Penulangan Geser Dan Torsi

Keputusan dan perencanaan geser dan torsi didasarkan pada SK SNI T – 15 – 1991 - 03 mulai pasal 3.4.1 sampai dengan pasal 3.4.6, garis besarnya sebagai berikut :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$V_u \leq \phi V_n$ SK SNI T - 15 - 1991 - 03 psl. 3.4.1 butir 1

dimana :

V_u = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

ϕ = faktor reduksi geser = 0.6

V_n = kuat geser nominal = $V_c + V_s$

V_c = kuat geser beton

V_s = kuat geser nominal

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi, harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut

$T_u \leq \phi T_n$ SK SNI T - 15 - 1991 - 03 psl 3.4.6 butir 5

dimana :

T_u = momen torsi terfaktor pada penampang yang ditinjau

ϕ = faktor reduksi geser dan torsi = 0.6

T_n = kuat momen torsi = $T_c + T_s \geq T_u$ min

T_c = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

T_s = kuat momen torsi nominal tulangan geser

$T_{u \text{ min}} = \frac{1}{20} \phi \sqrt{f_c'} \sum x^2 y$ batas T_u (SK SNI T – 15 – 1991 – 03 psl

3.4.6 butir)

Contoh Perhitungan

Perhitungan balok induk dimensi 40/70 cm pada lantai 6 As3 A-B

$V_u = 140980 \text{ N}$

$T_u = 6303500 \text{ Nmm}$

Direncanakan dengan daktilitas terbatas



Dipakai diameter tulangan geser = 12 mm

$$d = 638.5 \text{ mm}$$

a. Torsi maksimum yang mampu dipikul penampang

$$Tu_{max} = \frac{1}{20} \phi \sqrt{f_c'} \sum x^2 y$$

Dimana :

$$\sum x^2 y = (400)^2 (700) + 2 (120)^2 (638.5) = 130302400 \text{ mm}^2 \dots \text{menentukan}$$

$$\sum x^2 y = (400)^2 (580) + (120)^2 (1650) = 116560000 \text{ mm}^2$$

$$\text{shg } Tu = \frac{1}{20} \times \sqrt{30} \times 130302400 = 35684781.9 \text{ Nmm}$$

$$Tu_c = 35684781 \text{ Nmm} > 6303500 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja

b. Kebutuhan tulangan geser

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot bw \cdot d \dots \text{psl 3.4.3 butir 1.1}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \times 400 \times 638.5 = 203045.3 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 203045.2 = 121827.2 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = 60913.6 \text{ N}$$

$$Vu,b = 140985 \text{ N}$$

$Vu,b > \phi V_c$... perlu tulangan geser (SK SNI Y-15-03 psl 3.4.5 butir 6.1)

$$Vs = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{s} \dots \text{SKSNI psl 3.4.5 butir 6.1}$$

$$Vu = \phi (V_c + Vs) \dots \text{SKSNI psl 3.4.1 butir 1}$$

Kedua persamaan tersebut disederhanakan menjadi

$$s = \frac{Av \cdot \phi \cdot fy \cdot d}{(Vu - \phi V_c)}$$

$$s = \frac{(0.25 \times 3.14 \times 12^2) \times 0.6 \times 320 \times 638.5}{140985 - 121827.2} = 723.1 \text{ mm}$$

pada lokasi sepanjang d dari muka kolom, spasi maksimum tulangan geser tidak boleh melebihi nilai (SK SNI T-15-1991-03 psl 3.14.9.3)

- $d/4 = 638.5/4 = 159.625 \text{ mm}$
- $10 \times D. \text{ tul. Longitudinal} = 10 \times 19 = 190 \text{ mm}$
- $24 \times D \text{ tul. geser} = 24 \times 12 = 348 \text{ mm}$
- 300 mm

Pada daerah diluar jarak d dari muka kolom, spasi maksimum tulangan geser yang diijinkan tidak boleh melebihi nilai (SK SNI T-15-1991-03 psl 3.4.5.4):

- $d/2 = 638.5/2 = 319.25 \text{ mm}$
- 600 mm

Dari pembatasan diatas maka dipakai tulangan geser :

Pada lokasi sepanjang d dari muka kolom digunakan sengkang D12 – 150 mm

Pada daerah diluar jarak d dari muka kolom digunakan sengkang D12 – 300 mm

6.2.3 Penulangan Stud Balok Induk

a. Transfer Gaya Horisontal

Mekanisme dari tranfer gaya horisontal dihitung berdasarkan gaya geser yang dipindahkan melalui permukaan temu. ACI 318.83 mengusulkan dua metode alternatif untuk merencanakan tranfer gaya horisontal, yaitu :

1. Perencanaan berdasarkan gaya geser berfaktor vertikal pada penampang yang ditinjau.
2. Perencanaan berdasarkan pada kekuatan geser friksi pada bidang temu dimana kekuatan geser tersebut mampu menjamin perubahan aktual gaya tekan/tarik yang terjadi pada penampang yang ditinjau.

Dalam perancangan ini dipakai metode yang kedua, karena lebih mendekati kenyataan, dimana dasar desain :

$$V_u \leq \phi V_{nh}$$

Dimana :

V_u = gaya geser horisontal berfaktor dari penampang yang ditinjau

V_{nh} = kekuatan geser horisontal nominal

$\phi = 0.65$ SKSNI 1991 psl 3.2.3

Menurut SKSNI 1991 pasal 3.10.5 ada tiga kasus yang mungkin terjadi, yaitu :

1. Bila bidang kontak nya bersih dan bebas dari serpihan dan sengaja dikasarkan, maka $V_{nh} \leq 0.6 \times b_v \times d$
2. Bila dipasang sengkang pengikat minimum tetapi sengaja dikasarkan maka $V_{nh} \leq 0.6 \times b_v \times d$
3. Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan pasal 3.10.6 SKSNI 1991, bersih dan bebas dari serpihan dan sengaja dikasarkan, hingga mencapai tingkat kekasaran penuh dengan tonjolan dan cekungan permukaan kira-kira 5 mm, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $2.5.b_v.d$

Menurut SKSNI 1991 pasal 3.4.7 luas tulangan geser horisontal dapat dihitung dengan persamaan :

$$A_{vf} = \frac{V_{nh}}{\mu . f_y}$$

A_{vf} = luas tulangan geser horisontal

V_{nh} = gaya geser horisontal nominal

μ = koefisien friksiSKSNI 1991 psl 3.4.7 butir 4.3

$\mu = 1 \times 1$ dimana $1 = 1$ untuk beton normal

Tulangan geser dipasang dalam bentuk sengkang pengikat dengan jarak sengkang :

$$S = L_{vh} . A_{tie} / A_{vi}$$

$$S_{mak} = 4 \times \text{dimensi terkecil elemen yang didukung} \\ = 1400 \text{ mm}$$

Penulangan geser minimum :

$$A_{vi_{min}} = b_v . l_{vh} / 3 . f_y$$

b. Perhitungan Penulangan Stud

Stud berfungsi sebagai sengkang pengikat antara elemen pracetak dan elemen cast in place. Stud harus mampu mentranfer gaya - gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan

pertemuan antara kedua elemen. Dengan demikian kedua elemen tersebut dapat menjadi satu kesatuan elemen yang komposit dalam memikul beban.

Contoh perhitungan

Dicontohkan balok pada lantai 6 As 3A - B dengan panjang 6.60 m. Sebagai pendekatan, panjang balok yang mentranfer gaya geser permukaan,

$$L_{vh} = \frac{1}{4} \cdot 6600 = 1650$$

Penulangan Stud Daerah Tumpuan

$$\text{Tul. Atas (8D19 = 2267.08 mm}^2\text{)}$$

$$\text{Tul. Bawah (4D19 = 1133.54 mm}^2\text{)}$$

$$V_{nh} = T = A_s \times f_y = 2267.08 \times 320 = 725465.6 \text{ N}$$

$$0.6 \times b_v \times d = 0.6 \times 400 \times 638.5 = 152520 \text{ N} < V_{nh}$$

Apabila dari ketiga kondisi diatas diambil kondisi yang kedua, maka

$$V_{nh} \leq 0.6 \times b_v \times d$$

$$= 152520 \text{ N}$$

$$A_{vf} = \frac{V_{nh}}{\mu \cdot f_y} = \frac{152520}{1.320} = 476.6 \text{ mm}^2$$

$$A_{vf_{min}} = \frac{b_v \cdot L_{vh}}{3 \cdot f_y} = \frac{400 \cdot 1650}{3 \cdot 320} = 687.5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan sengkang pengikat D10 mm ($A_{tie} = 2 \times 78.5 = 157 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{L_{vh} \times A_{tie}}{A_{vf}} = \frac{1650 \times 157}{687.5} = 376.8 \text{ mm}$$

sesuai dengan SKSNI-T-15-1991-03 psl 3.10.6.1

$$s_{max} \leq 4 \times t_{pelat} = 480 \text{ mm}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

Dipasang sengkang pengikat D10 – 300 mm

Penulangan Stud Daerah Lapangan

$$L_{vh} = 1650 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. Atas} = 2D19 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\text{Tul. Bawah} = 5D19 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$V_{nh} = T = A_s \times f_y = 1416.92 \times 320 = 453416 \text{ N}$$

$$0.6 \times b_v \times d = 0.6 \times 400 \times 638.5 = 152520 \text{ N} < V_{nh}$$

Apabila dari ketiga kondisi diatas diambil kondisi yang kedua, maka

$$V_{nh} \leq 0.6 \times b_v \times d$$

$$= 153240 \text{ N}$$

$$A_{vf} = \frac{V_{nh}}{\mu \cdot f_y} = \frac{153240}{1.320} = 478.9 \text{ mm}^2$$

$$A_{vf_{min}} = \frac{b_v \cdot L_{vh}}{3 \cdot f_y} = \frac{400 \cdot 1650}{3 \cdot 320} = 687.5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan sengkang pengikat D10 mm ($A_{tie} = 2 \times 78.5 = 157 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{L_{vh} \times A_{tie}}{A_{vf}} = \frac{1650 \times 157}{687.5} = 376.8 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SKSNI-T-15-1991-03 psl 3.10.6.1

$$S_{max} \leq 4 \times t_{pelat} = 480 \text{ mm}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

Dipasang sengkang pengikat D10 – 300 mm

6.2.4 Panjang Penyaluran

a. Panjang penyaluran tulangan tarik

Panjang penyaluran tulangan dasar harus dihitung sesuai dengan perumusan

SKSNI – T – 15 1991 – 03 psl 3.5.2

- Untuk batang D-36 dan lebih kecil

$$l_{db} = \frac{0.02 \times A_b \times f_y}{\sqrt{f_c'}} \text{ tetapi tidak kurang dari } L_{db} = 0.06 \times d_b \times f_y$$

dimana :

$$A_b = \text{luas satu batang tulangan} = 0.25 \times 3.14 \times 19^2 = 283.38 \text{ mm}^2$$

f_y = tegangan leleh tulang = 320 Mpa

f_c' = tegangan leleh beton = 30 Mpa

$$L_{db} = \frac{0.02 \times 283.38 \times 320}{\sqrt{30}} = 331.12 \text{ mm}$$

tetapi tidak kurang dari $L_{db} = 0.06 \times 19 \times 320 = 364.8 \text{ mm}$

maka diambil $L_{db} = 350 \text{ mm}$

b. Panjang penyaluran tulangan tekan

Panjang penyaluran tulangan dasar harus dihitung sesuai dengan perumusan

SKSNI-T-15-1991-03 psl 3.5.2 :

$$L_{db} = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f_c'}} \text{ tetapi tidak kurang dari } L_{db} = 0.04 \times d_b \times f_y$$

$$L_{db} = \frac{19 \times 320}{4 \sqrt{30}} = 277.5 \text{ mm}$$

tetapi tidak kurang dari $L_{db} = 0.04 \times 19 \times 320 = 243.2 \text{ mm}$

maka diambil $L_{db} = 300 \text{ mm}$

6.2.5 Kontrol Lendutan

Sesuai SKSNI T-15-1991-03 tabel 5.2.5.a, syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

- Balok dengan dua tump. $h_{min} = \frac{L}{16} \left[0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$
- Balok dengan satu ujung menerus $h_{min} = \frac{L}{18.5} \left[0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$
- Balok dengan kedua ujung menerus $h_{min} = \frac{L}{21} \left[0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$
- Balok kantilever $h_{min} = \frac{L}{8} \left[0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan h_{min} .

6.2.6 Kontrol Tegangan Balok Induk

Kontrol tegangan-tegangann yang timbul pada balok induk pencetak pada daerah lapangan, untuk kasus tanpa penyangga (unproved)

1. Menentukan titik berat sebelum komposit

Dihitung dengan metoda Transformasi Penampang, yaitu luas penampang tulangan baja dan beton ditransformasikan menjadi satu macam penampang bahan serba sama dengan tujuan untuk menyamakan perilaku dalam mekanisme menahan beban.

Transformasi dilakukan dengan mengganti luasan penampang baja dengan luasan beton ekuivalen (luasan semu). Dengan demikian A_s adalah luas penampang tulangan baja yang diganti dengan luas beton ekuivalen A_{se} .

Untuk mendapatkan luasan beton ekuivalen pada balok persegi bertulangan rangkap, luas penampang tulangan tekan dikalikan dengan $2n$ sedangkan tulangan tarik dikalikan dengan n . Sebagian luas ekuivalen bagi tulangan baja tekan diperhitungkan untuk pengurangan luas beton yang ditempati tulangan baja sehingga luas ekuivalen menjadi $(2n-1)A_s$.

Untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa} \rightarrow$ nilai bandung modulus elastisitas $n = 8$

$$A_s' = 2D19 = 566.77 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 5D19 = 1416.9 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x \cdot l^2 - (2n-1) \cdot A_s' \cdot (x l - d c') = n \cdot A_s \cdot (d l - x l)$$

$$d c' = 40 + 12 + (0.5 \times 19) = 61.5 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{2} \times 400 \times x l^2 + \{[(2 \times 8)-1] \times 566.77 \times (x l - 61.5)\} = 8 \times 1416.9 \times (534 - x l) = 0$$

$$200 x l^2 - 2832.85 x l - 6588842.1 = 0$$

$$\rightarrow x l = 188.26 \text{ mm}$$

2. Menentukan titik berat sesudah komposit

$$\{b \times 120 \cdot (x_2 - 60)\} + \left\{\frac{1}{2} \cdot b \cdot (x_2 - 120)^2\right\} - \{(2n-1) \cdot A_s' \cdot (-x_2)\} = n \cdot A_s \cdot (d_2 - x_2)$$

$$\{1650 \times 120 \times (x_2 - 60)\} + \left\{\frac{1}{2} \times 400 \times (x_2 - 120)^2\right\} + \{15 \times (1416.9 \times (638.5 - x_2))\}$$

$$\text{didapatkan } x_2 = 138 \text{ mm}$$

3. Nilai tegangan sebelum komposit

$$M_{sbl} = 144689985 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b x_l^3 + \{(2n-1) A_s' (x_l - d_c')\} + \{n A_s (d_l - x_l)^2\}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} 400 (188.26)^3 + \{15 \times 1416.9 \times (188.26 - 61.5)^2\} + \{8 \times 1416.9 (188.26 - 61.5)^2\}$$

$$= 214158767.9 \text{ mm}^4$$

$$y_a = x_l, y_b = (d_l - x_l)$$

$$\text{Teg. Serat atas} = \frac{M_{sbl} y_a}{I_{cr}} = \frac{144689985 \times 188.26}{214158767.9} = 5.27 \text{ Mpa}$$

$$\text{Teg. Serat bawah} = \frac{M_{sbl} y_b}{I_{cr}} = \frac{144689985 \times (521 - 188.26)}{214158767.9} = 12.56 \text{ Mpa}$$

4. Nilai tegangan sesudah komposit

$$M_{ssd} = 22543000 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} 1650 (120)^3 + \left\{ \frac{1}{3} 400 (138 - 120)^3 \right\} + \{15 \times 1416.3 \times (174.5 - 138)^2\} + \{8 \times 1416.9 \times (638.5 - 138)^2\} = 3817999841 \text{ Nmm}$$

$$y_a = x_2 = 138 \text{ mm}, y_b = (d_2 - x_2)$$

$$\text{Teg. Serat atas} = \frac{M_{ssd} y_a}{I_{cr}} = \frac{22543000 \times 138}{3817999841} = 1.81 \text{ Mpa}$$

$$\text{Teg. Serat bawah} = \frac{M_{ssd} y_b}{I_{cr}} = \frac{22543000 \times (638.5 - 138)}{3817999841} = 2.95 \text{ Mpa}$$

6.2.7 Kontrol Retak

Lebar retak diperhitungkan apabila tulangan yang digunakan memakai $f_y > 413$ MPa (Chu Kia Wang and Charles G Salmon). Sedangkan mutu tulangan yang dipakai hanya mencapai 320 MPa sehingga kontrol retak tidak perlu dilakukan.

$$\begin{aligned}
 EI_{\text{kolom}} &= \frac{0,4 \cdot Ec \cdot Ig}{1 + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,9 \times 3.4133 \times 10^{10}}{1 + 0,8} \\
 &= 1,95 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

- Tingkat penjepit ujung atas (ψ_A) dan tingkat penjepit ujung bawah (ψ_B)

$$\psi (A/B) = \frac{\Sigma (E I_c / L_c)_{\text{kolom}}}{\Sigma (E I_b / L_b)_{\text{balok}}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ujung atas } (\psi_A) &= \frac{2 \times \left(\frac{1,95 \times 10^{14}}{4000} \right)}{\left(\frac{2,44 \times 10^{14}}{6600} \right)} \\
 &= 6,05
 \end{aligned}$$

$$\text{ujung bawah } (\psi_B) = \text{pondasi / jepit} = 1,00$$

Dari nomogram non dimensi diperoleh nilai k (faktor tekuk) = 0,85

$$\begin{aligned}
 \text{• Nilai kelangsingan} &= \frac{k \cdot Lu}{r}, r \text{ (Jari - jari girasi)} = 0,3 h \\
 &= 0,3 \times 800 = 24 \\
 &= \frac{0,85 \times 4000}{240} = 14,16
 \end{aligned}$$

batas kelangsingan

$$= 34 - 12 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}} = 34 - 12 \times \left(\frac{88000}{10721300} \right) = 14,2 < \frac{k \cdot lu}{r}$$

Termasuk kolom pendek, efek kelangsingan diabaikan

Sehingga dalam menentukan tulangan lentur tanpa memakai pembesaran momen

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{10721,3}{0,8} \times 10^6 = 1340162500 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{97968,2}{0,6} = 163280 \text{ N}$$

$$k_y = \frac{P_n}{A_g} = \frac{163280}{800^2} = 1.255$$

$$k_x = \frac{M_n}{A_g h} = \frac{1340162500}{800^2 \times 800} = 2.61$$

Dari diagram interaksi diperoleh $p = 2\%$ sehingga, diperoleh :

$$A_{s_{perlu}} = 0.020 \times 800^2 = 12800 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan $26\phi 25$ ($A_s = 12756.3 \text{ mm}^2$)

Kontrol dengan Bresler Reciprocal Method

Perhitungan

$$\begin{aligned} P_{no} &= 0.8 \phi \{ 0.85 f_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \} \\ &= 0.8 \times 0.65 \{ 0.85 \times 30 \times (800^2 - 12756.3) + 12756.3 \times 320 \} \\ &= 10439899.87 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan P_{nx}

$$\frac{M_{ux}}{A_g x h} = \frac{10721300}{800^2 \times 800} = 0.2$$

dari diagram interaksi F320 – 30 – 0.6 – 4, dengan $\rho = 0.01$ didapat:

$$\frac{\phi \cdot P_{nx}}{A_g} = 14.8$$

$$\begin{aligned} P_{nx} &= 14.8 \times 800^2 / 0.65 \\ &= 14572307.7 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan P_{ny}

$$\frac{M_{uy}}{A_g x h} = \frac{88000}{800^2 \times 800} = 0.13$$

dari diagram interaksi F320 – 30 – 0.6 – 4, dengan $p = 0.01$ didapat:

$$\frac{\phi \cdot P_{ny}}{A_g} = 14.8$$

$$\begin{aligned} P_{ny} &= 14.8 \times 800^2 / 0.65 \\ &= 14572307.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka: } \frac{1}{P_{nb}} &= \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o} \\
 &= \frac{1}{14572307.7} + \frac{1}{14572307.7} - \frac{1}{10439899.8} \\
 P_{nb} &= 18704714.2 \text{ N} \\
 P_u &= 979682 \text{ N} \\
 P_n &= \frac{P_u}{\phi} = \frac{97968.2}{0.6} = 163280 \text{ N} \\
 P_{nb} &= 18704714.2 \text{ N} > 163280 \text{ N} \quad (\text{OK !})
 \end{aligned}$$

• Penulangan Geser

Data – data perencanaan :

- N_u : 979682 N
- V_u : 4734 N
- b_w : 800 mm
- ϕ utama : ϕ 25 mm
- ϕ sengk. : ϕ 10
- d : $800 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 737.5 \text{ mm}$

Sumbangan Kekuatan Geser Beton :

Di daerah ujung :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.5 \times 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w x d \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \\
 &= 0.5 \times 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 800 \times 737.5 \times \left[1 + \frac{979682}{14 \times 800^2} \right] \\
 &= 597483.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 597483 = 3584910.1 \text{ N}$$

$$0.5 \phi V_c = 1792245 \text{ N}$$

karena V_u yang terjadi $< 0.5 \phi V_c$, maka dipasang sengkang minimum.

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w s}{3 f_y} \rightarrow s = \frac{A_v 3 f_y}{b_w}$$

Pakai sengkang ϕ 10, $A_s = 78.54 \text{ mm}^2$ sehingga :

$$s = \frac{2 \times 78,54 \times 3.320}{800}$$

$$= 188.4 \text{ mm}$$

$$s \text{ maks} \leq 0,5 h = 0,5 \times 800 = 325 \text{ mm}$$

$$\leq 10 d_b = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

Pasang tulangan sengkang ϕ 10 – 150 mm

Di daerah lapangan :

$$V_c = 0,5 \times 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b w x d x \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right]$$

$$= 0,5 \times 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 800 \times 737,5 \times \left[1 + \frac{979682}{14 \times 800^2} \right]$$

$$= 597483.4 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 597483 = 3584910.1 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 1792245 \text{ N}$$

karena V_u yang terjadi $< 0,5 \phi V_c$, maka dipasang sengkang minimum.

$$A_v \text{ min} = \frac{b w s}{3 f_y'} \rightarrow s = \frac{A_v 3 f_y'}{b w}$$

Pakai sengkang ϕ 10, $A_s = 78,54 \text{ mm}^2$ sehingga :

$$s = \frac{2 \times 78,54 \times 3.320}{800}$$

$$= 188.4 \text{ mm}$$

$$s \text{ maks} \leq 0,5 h = 0,5 \times 800 = 325 \text{ mm}$$

$$\leq 10 d_b = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

Pasang tulangan sengkang ϕ 10 – 150 mm

6.4. Perencanaan Dinding Geser

6.4.1 Umum

Shearwall dalam gedung berguna untuk menahan gaya geser dan momen-momen yang terjadi akibat gaya lateral. Perancangan shearwall berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 33 sebagai struktur pemikul beban lentur dan aksial serta 3.7 sebagai struktur dinding.

6.4.2 Kuat Beban axial Rancang

Kuat beban aksial rancang ϕP_{nw} berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.7.5 persamaan 3.7.1:

$$\phi P_{nw} = 0.55 \phi f_c' A_g \left(1 - \left(\frac{k L_e}{32 h} \right)^2 \right)$$

dimana:

$$\phi = 0.70$$

$$k = 0.80 \quad (\text{dikekang pada salah satu ujungnya})$$

L_e = jarak vertical antara 2 tumpuan

h = tebal dinding

6.4.3 Perencanaan Geser

Perencanaan geser harus dilakukan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10 dimana dinyatakan perencanaan dinding geser pada struktur dasar dibedakan dengan struktur diatasnya, perbedaan ini terletak pada kuat geser rencana pada dinding geser. Pada dinding geser selain lantai dasar kekuatab geser beton (V_c) diharapkan turut menyumbangkan kekuatan untuk memikul gaya geser yang terjadi, sedangkan pada lantai dasar gaya geser pada dinding geser diasumsikan diterima hanya oleh tulangan saja sehingga akan terjadi keadaan paling kritis pada lantai dasar, dimana apabila terjadi pembesaran dinamis tulangan shearwall pada lantai dasar tetap mampu untuk menahan gaya yang

terjadi, sehingga plastis diharapkan akan terjadi pada bagian bawah shearwall (lantai dasar).

6.4.3.1 Ketentuan Perencanaan Dinding Geser

Kuat geser dinding terhadap gaya geser tegak lurus muka dinding dan gaya geser dalam bidang dinding harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Kuat geser rencana bagi dinding geser pada penampang dasar sehubungan dengan adanya pembesaran dinamis:

Dimana :

$M_{kap,d}$ = momen kapasitas dinding geser pada penampang dasar yang dihitung berdasarkan luas baja tulangan yang terpasang dan dengan tegangan tarik baja tulangan sebesar $1.25f_y$

$M_{Ed\ mark}$ = momen lentur maksimum dinding geser akibat beban gempa tak berfaktor pada penampang dasar.

$V_{Ed\ mark}$ = gaya geser maksimum dinding geser akibat beban gempa tak berfaktor pada penampang dasar.

2. Kuat geser V_n pada sembarang penampang horizontal terhadap geser bidang dinding tidak boleh lebih besar dari $(5.6) h.d$
3. Untuk kuat geser V_c diambil dari nilai terkecil dari persamaan sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.6

Rumus

Persamaan (2) tidak berlaku jika $(M_u/V_u - 1w/2)$ bernilai negatif, sedangkan V_c tidak boleh lebih dari (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.(5)

4. Rasio (ρ_h) dari luas tulangan geser horizontal terhadap luas bruto penampang tidak boleh kurang dari 0.0025 (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(2)

5. Spasi dari tulangan geser horizontal S2 tidak boleh lebih dari $l_w / 3h$ ataupun 500 mm (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(3).
6. Rasio (ρ_h) dari luas tulangan geser vertikal terhadap luas bruto penampang horizontal beton tidak boleh kurang dari: lebar dinding ataupun 0.0025 tetapi tidak harus lebih besar dari tulangan geser horizontal (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(4).

6.4.3.2 Ketentuan Perencanaan untuk struktur dengan Tingkat Daktilitas 2

Selain itu perlu diperhatikan syarat-syarat penulangan untuk struktur dengan tingkat daktilitas dua (terbatas).

1. Dalam segala hal tidak boleh kurang dari persyaratan untuk struktur tingkat daktilitas 2 (terbatas).
2. Diameter tulangan $< 1/10$ tebal dinding
3. Untuk dinding dengan tebal $d > 200$ mm, maka setiap arah harus dipasang 2 lapis tulangan (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(2b).

Persyaratan diatas tujuan untuk :

- Melindungi kerusakan beton akibat adanya beban tertukar terutama pada keadaan inelastic.
- Mengendalikan lebar retak yang akan timbul pada dinding karena penyebaran tulangan lebih merata sepanjang dan setinggi sepertiga dinding tersebut.

4. Jarak antar tulangan vertikal

> 200 mm di dalam daerah ujung dan < 300 diluar daerah ujung (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(3f).

5. Jarak antar tulangan horizontal :

Di dalam daerah ujung tidak boleh diambil lebih dari 200 mm (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(3h).



Di luar daerah ujung tidak boleh lebih dari tiga kali tebal dinding. Seperlima lebar dinding dan 450 mm (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(3g)

6. Panjang daerah ujung tidak boleh kurang dari lebar dinding, seperenam dari tinggi dinding dan tidak boleh lebih besar dari dua kali lebar dinding (S.K) SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9(3i)

6.4.4 Data-data Perencanaan

Mutu bahan

- Mutu beton (f_c) = 30 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 320 MPa

Dimensi

- Tinggi total dinding = 4000 cm
- Tebal dinding = 30 cm

6.4.5 Dasar-dasar Perencanaan

- Ratio tulangan minimum dari luas tulangan vertical terhadap penampang bruto beton harus memenuhi:
 - 0.0012 untuk tulangan < D16, dengan mutu baja < 400 Mpa
 - 0.0015 untuk batang deform lainnya atau
 - 0.0012 untuk jaringan kawat baja las tidak lebih besar dari W31 atau D31 (S.K SNI T-15-1991-03 pasal 3.7.3.2)
- Spasi tulangan pada tiap arah tidak boleh lebih dari 450 mm dan harus didistribusikan pada seluruh penampang.
(S.K SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7 (2a))
- Bila tebal dinding lebih besar atau sama dengan 200 mm, maka dinding tersebut harus dipasang dua lapis tulangan.

(S.K SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7 (2b))

- Jarak antar tulangan vertical sepanjang lo dari ujung tiang tidak boleh lebih dari 200 mm dan 300 mm di luar daerah ujung sepanjang lo.

(S.K SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7 (3f))

- Jarak antar tulangan di luar daerah ujung lo tidak boleh lebih dari tiga kali tebal dinding, seperlima lebar dinding dan 450 mm

(S.K SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7 (3g))

- Jarak antar tulangan horizontal dalam daerah ujung sepanjang lo tidak boleh lebih dari 200 mm.

(S.K SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7 (3h))

- Panjang daerah ujung lo tidak boleh kurang dari lebar dinding, seperenam dari tinggi dinding dan tidak perlu lebih besar dari dua kali lebar dinding.

(S.K SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7 (3i))

6.4.6 Kontrol Komponen Pembatas

Dalam SKSNI T-15-1991-03 disebutkan apabila pada batas dan sekeliling sisi-sisi bukaan dari dinding diafragma struktur, tegangan serta terluar maksimum akibat gaya terfaktor dimana termasuk pengaruh gempa melampaui $0.2 f_c (=0.2 \times 30 = 6 \text{ Mpa})$ harus dipasang komponen struktur pembatas.

Data perencanaan :

- Tinggi tiap lantai = 400 cm
- Tinggi total dinding = $400 - 70 = 330 \text{ cm}$
- Tebal dinding = 30 cm
- $L_w = 5600 \text{ mm}$
- $d = 0.8l_w = 5600 \times 0.8 = 4480 \text{ mm}$

$$f_c = \frac{M_n}{W} + \frac{P_n}{A_c}$$

$$= \frac{9319372 / 0.8}{\frac{1}{6} \times 300 \times 5600} + \frac{579000 / 0.8}{300 \times 5600}$$

$$= 41.6 \text{ MPa} > 6 \text{ Mpa}$$

perlu komponen pembatas

Syarat komponen pembatas

$$bc = 0.017 \times L_w \times \sqrt{\mu \phi}$$

$$\mu \phi = 19 \dots ((\text{Paulay Pr istley}))$$

$$bc = 0.017 \times 5600 \times \sqrt{19} = 444.1 \text{ mm}$$

$$b \geq b_w \quad b_l \geq \frac{bc \cdot L_w}{10 \cdot b}$$

$$b \geq 300 \text{ mm} \quad b_l \geq 497.3 \text{ mm}$$

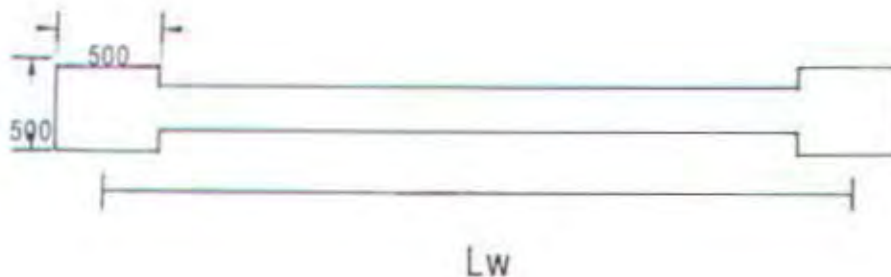
$$b \geq bc \quad b_l \geq \frac{bc^2}{b}$$

$$b \geq 444.1 \text{ mm} \quad b_l \geq 438.3 \text{ mm}$$

$$b \geq \frac{1}{16} \times 4480$$

$$b_l \geq 280 \text{ mm}$$

dimensi komponen pembatas cm 500 x 500



Gambar 6.3 Dimensi komponen pembatas

6.4.7 Kontrol kekuatan Shearwall

- Kemampuan dinding geser terhadap gaya aksial

$$\phi P_{nw} = 0.55 \phi f_c' A_g \left(1 - \left(\frac{k L_e}{32 h} \right)^2 \right)$$

$$\phi P_{nw} = 0.55 \times 0.7 \times 30 \times (300 \times 4480) \left(1 - \left(\frac{0.8 \times 4480}{32 \times 300} \right)^2 \right)$$

$$P_u < \phi P_{nw}$$

Dinding geser mampu menahan beban aksial

- Kekuatan geser beton pada dinding geser

$$d = 0.8 L_w = 4480 \text{ mm}$$

$$V_n = \left[\frac{5 \sqrt{f_c'}}{6} \right] \times h \times d$$

$$= \left[\frac{5 \times \sqrt{30}}{6} \right] \times 300 \times 4480$$

$$= 6134492.6 \text{ N}$$

$$\frac{572214}{\phi} = \frac{572214}{0.6} = 953690 \text{ N}$$

$$\frac{V_u}{\phi} < V_n \quad \dots \text{ dinding geser mampu memikul gaya geser}$$

6.4.8 Penulangan lentur pada ShearWall

Pada shearwall lantai dasar ($M_u \text{ max} = 9319372 \text{ Nmm}$)

Diameter rencana = D19 mm

$$M_n = A_s \times f_y \times z \geq \frac{M_u}{0.8}$$

$$= A_s \times (5600 - 500) \times 320 \geq \frac{9319372}{0.8}$$

$$= A_s \times 1632000 \geq 11649215$$

$$A_s > 17.13 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2D19 ($A_s = 566.77 \text{ mm}^2$)

$$\text{Kontrol : } a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b_w} = \frac{566.77 \times 320}{0.85 \times 30 \times 300} = 23.7 \text{ mm}$$

$$L = 5600 - 300 - (23.7/2) = 5288.2 \text{ mm}$$

$$M_n = 566.77 \times 320 \times 5288.2 = 959101796.5 \text{ Nmm} > 11649215 \dots \text{ OK}$$

Jarak tul. Vertikal < 200 mm di dalam daerah ujung

< 300 mm di luar daerah ujung

jarak antar tul. Diluar daerah ujung

< 3 x tebal dinding = 900 mm

< 1/5 x 5600 = 1120 mm

< 450 mm

maka dipasang tulangan lentur D19 dengan jarak antar tulangan lentur

vertikal (s_1) = 200 mm di dalam daerah ujung

= 300 mm di luar daerah ujung

6.4.9 Penulangan geser vertikal (A_h)

Rasio (ρ_n) dari luas tulangan geser vertikal terhadap bruto penampang horisontal beton tidak boleh kurang dari 0.0025 ... (SKSNI '91 ps. 3.4.10(4))

$$A_n \text{ vertikal} = 0.0025 \times b_w \times d = 0.0025 \times 300 \times 4480 = 3360 \text{ mm}^2$$

Spasi tulangan maksimum vertikal ... SKSNI '91 ps. 3.4.10 butir 9(5) :

$$S_1 < L_w/3 = 1866.7 \text{ mm}$$

$$< 3.b_w = 3.300 = 900 \text{ mm}$$

$$< 500 \text{ mm}$$

dipasang tulangan geser D10 – 150 mm

$$A_n \text{ actual} = (0.25 \times 3.14 \times 10^2) \times 2 + 2280/150)$$

$$= 4689.9 \text{ mm}^2 > A_n \text{ vertikal}$$

6.4.10 Penulangan geser Horizontal (Av)

Penulangan geser horizontal lantai 1

Gaya geser yang terjadi pada shearwall akan ditahan oleh tulangan geser tanpa sumbangan kekuatan geser dari beton (Vc) atau pada kondisi kritis :

$$V_{nd \max} = w_d \times 0.7 \times \frac{M_{\text{kap.d}}}{M_{Ed \max}} \times V_{Ed \max}$$
$$= 1.3 \times 0.7 \times \frac{1.25 \times 959101796.5}{9319772.5} \times 572214 = 73608486 \text{ N}$$

$$S_2 = \frac{(2 \times 0.25 \times \pi \times 10^2) \times 320 \times (5600 - 500)}{73608486} = 304.8 \text{ mm}$$

Jarak antar tul. Diluar daerah ujung ... SKSNI T-15-1991-03 Ps. 3.14.9
(7.3i) dan ps. 3.14.9.(7.3h) :

$$S_2 < 3 \times \text{tebal dinding} = 900 \text{ mm}$$

$$S_2 < 1/5 \times 5600 = 1120 \text{ mm}$$

$$S_2 < 450 \text{ mm}$$

vertikal (s₁) = 200 mm di dalam daerah ujung

dipasang tulangan geser vertikal D10 – 300 mm

Penulangan lantai 2 sampai dengan atap

$$P_u = 8655716.716 \text{ N}$$

$$V_u = 61229.41 \text{ N}$$

$$M_u = 10438404 \text{ N}$$

$$L_w = 5600 \text{ mm}$$

$$d = 0.8 \times 5600 = 4480 \text{ mm}$$

Nilai Vc tidak boleh diambil lebih besar dari :

$$V_c = 5/6 \times \sqrt{f_c'} \times h \times d = 5/6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 4480 = 7763560.9 \text{ N}$$

Dan nilai Vc diambil dari nilai terkecil dari persamaan sesuai dengan SK SNI T-15 -1991-03 pasal 3.4.10.6 :

$$V_c = \frac{f_c'}{4} \times h \times d + \frac{N_u \times d}{4 l_w} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 ps. 3.4.32})$$
$$= \frac{30}{4} \times 300 \times 4480 + \frac{8655716.8 \times 4480}{4 \times 5600}$$

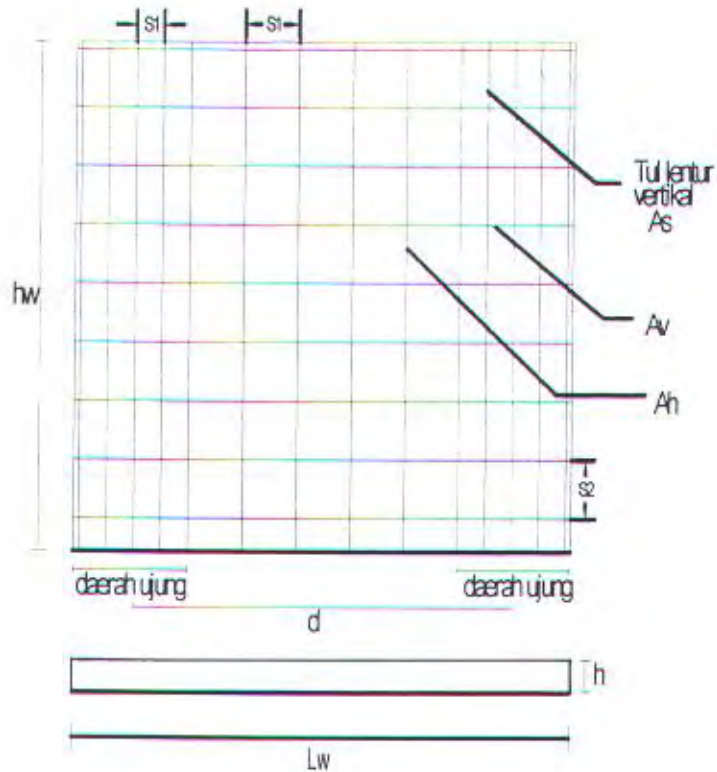
$$= 4360211 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 2616112 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = 1308064 \text{ N} \dots (\text{pasang tulangan geser horizontal praktis})$$

Dipasang Tulangan Horizontal = D10 – 300 d dalam daerah ujung

D10 – 300 di luar daerah ujung



Gambar 6.4 Sketsa Pemulangan Dinding Geser

BAB VII

PERENCANAAN SAMBUNGAN

BAB VII

PERENCANAAN SAMBUNGAN

7.1 Umum

Dalam bab ini akan diuraikan kriteria desain sambungan, konsep, jenis sambungan dan hal-hal yang berkaitan dengan alat-alat sambungan. Sambungan yang dipakai adalah sambungan basah (*topping*) yang relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup kompleks.

Untuk sambungan basah dalam daerah joint, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran, sambungan lewatan, dowel yang dijangkarkan di daerah pertemuan tersebut. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu juga perlu ditinjau *serviceability*, kekuatan dan produksi. Factor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh sambungan karena sambungan harus menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*)

7.2 Kriteria Perencanaan Bangunan

Kriteria perencanaan sambungan disesuaikan dengan desain, karena ada perbedaan kriteria untuk masing-masing type sambungan. Persyaratan suatu sambungan dapat menjadi syarat yang tidak terlalu penting untuk sambungan lain. Hal ini diakibatkan karena perbedaan asumsi / anggapan atau perbedaan spesifikasi dari pihak perancangan dan pemilik struktur.

7.2.1 Kekuatan

Suatu sambungan harus mempunyai kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang diterapkan sepanjang umur dari sambungan. Beberapa dari gaya ini disebabkan oleh gaya gravitasi, angin, gempa dan perubahan volume.

7.2.2 Daktilitas

Daktilitas sering didefinisikan sebagai kemampuan relatif struktur untuk menampung deformasi yang besar tanpa mengalami runtuh. Untuk material struktur, daktilitas diukur dengan total deformasi yang terjadi saat leleh awal terhadap leleh batas (*ultimate failure*).

Daktilitas pada portal sering digabungkan dengan ketahanan terhadap momen, hal ini dipakai dalam perencanaan gempa. Pada elemen sambungan tahan momen, tegangan tarik lentur biasanya ditahan oleh komponen baja. Dan kondisi runtuh akhir dapat terjadi karena kondisi putusnya baja, hancurnya beton atau kegagalan dari sambungan baja beton.

7.2.3 Perubahan Volume

Kombinasi pemendekan akibat dari rangkai, susut dan penurunan suhu dapat menyebabkan beberapa tegangan pada elemen beton pracetak ataupun perletakannya ditarik pergerakannya. Tegangan ini harus dimasukkan oleh desain dan akan lebih bila

sambungan diijinkan untuk berpindah tempat untuk mengurangi besarnya tegangan tersebut.

7.2.4 Daya Tahan

Sambungan perlu diawasi dan dipelihara. Sambungan yang diperkirakan akan langsung dapat bersentuhan dengan cuaca harus dilakukan tindakan perlindungan dengan beton atau dengan cat (galvanis) daya tahan yang buruk dapat diakibatkan oleh retak, speling beton dan yang paling sering diakibatkan oleh korosi dari komponen baja elemen beton pracetak.

7.2.5 Ketahanan Terhadap Kebakaran

Beberapa sambungan beton pracetak tak mudah terpengaruh akibat api, seperti pada perletakan antara pelat dan balok yang secara umum tidak memerlukan perlindungan secara khusus terhadap api. Apabila pelat diletakkan diatas bearing pada yang terbuat dari bahan yang mudah terbakar, maka perlindungan khusus dari bearing pads tersebut perlu karena keadaan buruk dari pads tidak akan menyebabkan runtuh tetapi sesudah kebakaran pads harus diganti. Untuk sambungan yang tidak tahan api memerlukan perlindungan khusus seperti dengan melapisi beton, sypsum wallboard atau bahan lain yang tahan api.

7.2.6 Kesederhanaan Sambungan

Semakin sederhana sambungan maka diharapkan akan semakin ekonomis. Kriteria penyederhanaan sambungan adalah:

- Memakai bahan-bahan standar
- Menggunakan detail yang sama (berulang)
- Mengurangi bagian-bagian yang perlu ditancapkan pada elemen sehingga memerlukan presisi tinggi untuk menempatkannya
- Mempersiapkan cara-cara penggantian

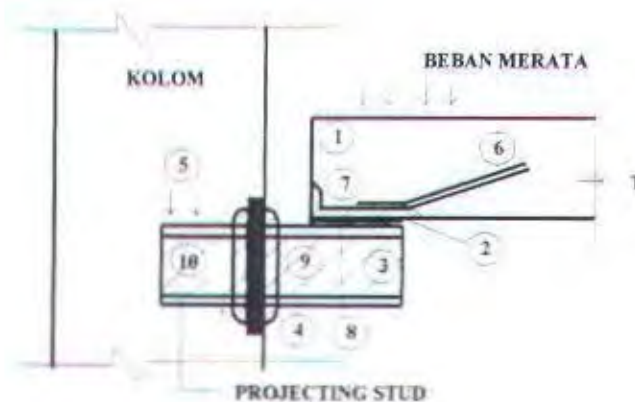
7.2.7 Kesederhanaan Pemasangan

Kesederhanaan pemasangan elemen beton pracetak sangat menentukan keberhasilan pencapaian tujuan penerapan konstruksi beton pracetak. Kesederhanaan pemasangan tidak lepas dari bentuk dan type sambungan yang dipilih. Kesederhanaan suatu sambungan biasanya menjamin kemudahan dalam pemasangan.

7.3 Konsep Desain Sambungan

7.3.1 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Pemindahan beban diteruskan ke kolom dan wall melalui beberapa tahap :



Gambar 7.1 Mekanisme Pemindahan Beban

1. Beban w diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertical dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertical dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.

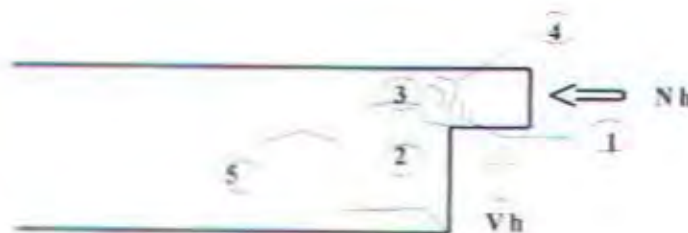
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan / ikatan
2. Tulangan baja siku ujung balok diikat dengan las
3. Baja siku diujung balok ke *haunch* melalui gesekan diatas dan dibawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada pads.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh stud ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

7.3.2 Pola-pola Kehancuran

Sebagai perencana diharuskan untuk menguji masing-masing pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 7.3

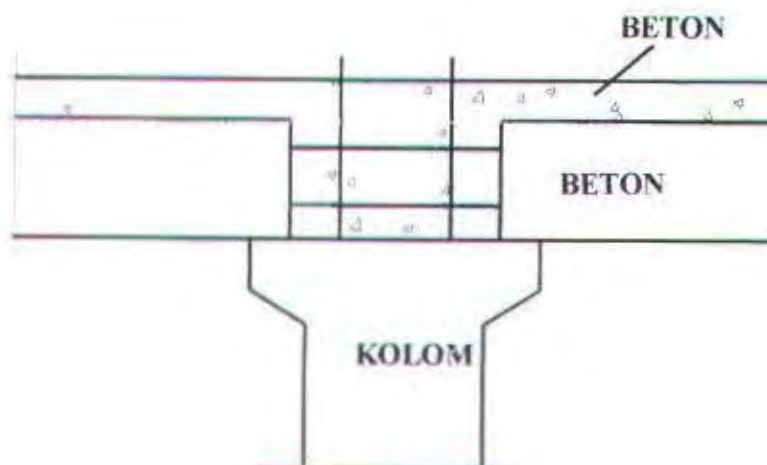


Gambar 7.3 Pola - Pola Kehancuran Pada Ujung Balok

PCI design Handbook memberikan lima pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan dapped-end dari balok, yaitu sebagai berikut:

1. Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
2. Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
3. Geser langsung antara tonjolan dengan bagian utama balok
4. Tarik diagonal pada ujung akhir
5. Perletakan pada ujung atau tonjolan

Dalam tugas akhir ini, penulis merencanakan system balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian kekuatan penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan sambungan yang benar-benar monolith.



Gambar 7.3 Balok pracetak menumpu pada konsol pendek

7.3.3 Stabilitas dan Keseimbangan

Beberapa masalah utama pada struktur beton pracetak biasanya disebabkan oleh kesalahan perencanaan dalam menghitung stabilitas dan keseimbangan dari struktur dan komponen-komponen, bukan hanya kedudukan akhir tetapi juga selama fase pelaksanaan konstruksi.

Sebagai contoh pada balok induk, karena eksentrisitas beban pada balok terjadi torsi dan balok cenderung berputar pada perletakan. Jadi perencanaan perlu untuk memperhitungkan kondisi pada saat pemasangan balok tersebut. Gaya lateral didistribusikan ke setiap bagian struktur lateral melalui aksi diafragma dari pelat lantai.

7.3.4 Klasifikasi Sistem Pracetak Dan Sambungannya

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambung dan jenis alat penyambung.

1. Lokasi Penyambungan

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktailnya. Simbol – simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasikan perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

- Strong, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- Sendi, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- Daktail, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

2. Jenis alat penyambung

- Shell pracetak dengan bagian intinya dicor beton setempat
- Cold joint yang diberi tulangan pratekan parsial, dimana joint digROUT
- Cold joint yang diberi tulangan pratekan parsial, dimana joint tersebut tidak digROUT.
- Sambungan-sambungan mekanik



7.4 Pertimbangan -Pertimbangan Rancangan

1. Sambungan-sambungan sendi

Pertimbangan pertama adalah menentukan letak sambungan pada titik momen minimum, namun sambungan tersebut masih harus didesain terhadap momen yang masih terjadi. Momen yang terjadi lantai per lantai akibat beban mati ditambah beban hidup juga biasanya tidak banyak berbeda, tetapi pergeseran-pergeseran bidang momen akibat ragam-ragam yang lebih tinggi dalam keadaan in elastis perlu diperhatikan.

2. Sambungan daktail pemencar energi

Bila sambungan diletakkan pada titik-titik dimana sendi plastis akan terjadi, maka penyambungannya harus mampu berotasi bolak balik secara plastis tanpa mengurangi kekuatan momen dan kapasitas geser dari joint tersebut.

Sistem sambungan menjadi sangat kompleks dan sedikit sekali penelitian dilakukan dalam hal ini. Keadaan ini cenderung dihindari oleh para desainer dan letak joint dengan lokasi sendi plastis berusaha dipisahkan.

Dari segi pengerjaan dan pelaksanaan beton pracetak, peletakan lokasi joint yang sama dengan lokasi sendi plastis sangatlah ekonomis sebab elemen-elemen tunggal dan berbentuk lurus dan pengangkutan serta pengangkatannya lebih mudah.

Sebelum pelat mencapai momen lelehnya, keretakan mungkin terjadi pada kolom, sehingga rotasi *post elastis* akan terjadi pada suatu daerah yang menyebabkan peningkatan kekangan pada joint dan *defleksi post yield* elemen baloknya sehingga menghasilkan retakan yang besar pada joint. Beban siklis yang terjadi pada joint di daerah ini mengakibatkan pengurangan gaya gesernya. Regangan-regangan tinggi yang berulang dan bolak-balik pada tulangan yang dimaksud menyebabkan penurunan momen yang besar jika tidak direncanakan penulangannya. Bila akibat beban tarik kemudian diberi gaya tekan kembali mengakibatkan gata lateral yang cukup besar pada beton yang berada di sekeliling tulangan, hal ini dapat mengakibatkan pengurangan kapasitas beton untuk menerima gaya tekan bolak-balik.

Untuk struktur beton bertulang cor setempat, degradasi ini diatasi dengan adanya tulangan lateral (senggang). Efektivitas tulangan tersebut yang terletak pada suatu *cold*

joint sampai sekarang belum begitu terbukti. Di masa yang akan datang perlu dikembangkan joint-joint yang dapat berperilaku baik dalam keadaan *post yield*.

3. Alat penyambung kuat (tidak leleh dulu dibandingkan sendi plastisnya)

Untuk menghindari letak joint antar elemen pracetak yang bertepatan dengan letak sendi plastis adalah dengan cara memaksakan agar letak sendi tersebut jauh dari joint. Kapasitas elastis pada permukaan kolom harus melebihi dari yang diperkirakan dengan meletakkan sendi plastis tersebut pada pelat. Kapasitas momen elastis pada bagian muka kolom harus lebih besar daripada kapasitas momen pada lokasi sendi. Regangan dan gaya geser yang lebih tinggi akan timbul pelelehan dan varasinya sama seperti yang digunakan untuk komponen-komponen lain yang sama yaitu plastis dengan komponen pracetak lain.

Agar mekanisme yang diharapkan dapat tercapai maka kapasitas momen kolom gabung harus lebih besar daripada kapasitas yang dihasilkan pada saat sendi plastis menempel pada kolom. Sambungan-sambungan dapat direncanakan plastis dengan banyak kemungkinan jenis-jenis sambungan yang dapat dipakai diantaranya sambungan las, sambungan *post tension* atau sambungan *grouting*.

4. Sambungan cold joint yang diberi tulangan biasa

Jenis joint ini diletakkan di daerah momen yang kecil. Pemakaiannya yang umum yaitu dengan menggunakan sendi yang bebas berputar, sebab biasanya sendi tersebut dipasang di daerah yang secara analisa memang terjadi persendian (*inflection point*). Pada permukaan elemen pracetak direncanakan suatu sambungan yang tidak akan terjadi pelelehan sambungan. Dari sudut pelaksanaannya adalah sangat menguntungkan dan agar panjang sambungan sependek mungkin serta mengurangi kemungkinan besarnya momen yang terjadi.

Transfer bond dari tegangan yang berasal dari tulangan tarik biasanya sering dipilih sebab tiak akan menimbulkan masalah yang berarti pada waktu pemasangan *mechanical aplices*. Transfer geser diperbaiki dengan mengubah tulangan pengeang.

Sambungan-sambungan basah biasanya tidak dapat dipakai pada sambungan kolom, sehingga kebanyakan digunakan sambungan dowel atau sambungan-sambungan mekanik. Untuk gempa besar biasanya jenis sambungan ini tidak dapat memenuhi

persyaratan. Selain terjadi gaya geser yang cukup besar yang harus ditransferkan, juga terjadi momen yang cukup besar akibat pergeseran *inflection point* akibat sifat-sifat inelastic bila terjadi cukup banyak sendi-sendi plastis pada struktur. Pengaruh ragam yang lebih tinggi dapat menggeser letak *inflection point* pada analisa elastis. Gaya geser yang cukup besar dapat ditransferkan lewat *shear keys*.

7.5 Penggunaan Topping Beton

Tebal topping umumnya diambil sekitar 50 mm – 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horisontal yang terjadi tidak melebihi 5.5. kg/cm². Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka topping beton tersebut tidak boleh dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada beton pracetak tersebut.

Tujuan utama penggunaan topping beton adalah sebagai berikut :

- Menjamin beton tersebut bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horisontal yang cukup kaku.
- Agar penyebaran beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata
- Meratakan permukaan beton

Kebutuhan baja tulangan pada beton dalam menampung gaya geser horisontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*)

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \mu} \geq A_{vf \text{ min}}$$

dimana :

A_{vf} = luas tulangan geser friksi

V_n = luas geser nominal

$< 0.2 \times f_c \times A_c$ (newton)

$< 5.5 \times A_c$ (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran beton

f_y = kuat leleh tulangan

μ = koef. Friksi = 1

$A_{vf \min} = 0.018 A_c \dots$ (untuk tulangan $f_y < 400 \text{ Mpa}$)

$= 0.018 (400/f_y) A_c \dots$ (untuk tulangan $f_y > 400 \text{ Mpa}$)

diukur pada regangan leleh 0.35 %

= dalam segala hal tidak boleh kurang dari 0.14 A_c

contoh perhitungan :

$f_c = 30 \text{ Mpa}$

$f_y = 320 \text{ Mpa}$

$A_c = 25 \times 1000 = 25000 \text{ mm}^2$

$V_n < 0.2 \times 30 \times 25000 = 150000 \text{ N}$

$V_n < 5.5 \times 25000 = 137500 \text{ N} \dots$ (diambil)

Maka :

$A_{vf} = 1375000/320 = 429.7 \text{ mm}^2$

Syarat : $A_{vf \min} = 0.018 \times 25000 = 45 \text{ mm}^2 \dots$ (diambil)

$A_{vf \min} > 0.014 \times 25000 = 35 \text{ mm}^2$

$A_{vf} = 429.7 \text{ mm}^2 > A_{vf \min} = 45 \text{ mm}^2$

Jadi topping yang diperhitungkan sebagai beton komposit

7.6 Prosedur Desain Sambungan

7.6.1 Transfer Gaya Geser Horizontal

Mekanisme dari transfer gaya geser horisontal dihitung berdasarkan besarnya gaya geser yang dipindahkan melalui permukaan temu. ACI 318.83 mengusulkan dua metode alternatif untuk merencanakan transfer gaya horisontal yaitu :

1. Perencanaan berdasarkan pada gaya geser berfaktor vertikal pada penampang yang ditinjau

2. Perencanaan berdasarkan pada kekuatan geser friksi pada bidang temu dimana kekuatan geser tersebut mampu menjamin perubahan aktual gaya tekan/tarik yang terjadi pada penampang yang ditinjau.

Dalam perencanaan ini dipakai metode yang kedua, karena lebih mendekati kenyataan, dimana dasar desain :

$$F_{uh} \leq \phi F_{nh}$$

Dimana : F_{uh} = gaya geser horisontal berfaktor

F_{nh} = kekuatan geser horisontal

$$\phi = 0,65$$

Menurut SKSNI 1991 pasal 3.10.5 ada tiga kasus yang mungkin terjadi, yaitu :

1. $F_{uh} \leq 0,6 \cdot b_v \cdot l_{vh}$

Permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna dan sengaja dikasarkan. Atau tidak sengaja dikasarkan tetapi diberi sengkang pengikat minimum sesuai SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.10.6.

2. $0,6 \cdot b_v \cdot l_{vh} \leq V_{nh} \leq 2,5 \cdot b_v \cdot l_{vh}$

Permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna dan sengaja dikasarkan sehingga mencapai tingkat kekasaran dengan amplitudo ± 5 mm diberi sengkang minimum sesuai dengan SKSNI 1991 pasal 3.10.6.

3. $V_{nh} \leq 2,5 \cdot b_v \cdot l_{vh}$

Permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna serta untuk perencanaan geser horisontal harus dikerjakan sesuai dengan SKSNI 1991 pasal 3.10.6 yaitu :

- Kekuatan geser nominal maksimum yang didasarkan pada beton adalah $1,2 \cdot f_c' \cdot b_v \cdot l_{vh}$ atau $5,5 \cdot b_v \cdot l_{vh}$ (Newton)

Jadi dengan kata lain :

$$F_{nh \max} = 1,2 \cdot b_v \cdot l_{vh}$$

- Luas tulangan geser horisontal dapat dihitung dengan persamaan :

$$A_{vf} = \frac{V_n}{\mu f}$$

dimana : $A_v f$ = Luas tulangan geser horisontal

V_{nh} = gaya geser horisontal nominal

μ = 1x1 untuk komposit

f = 1,0 untuk beton normal

= 0,85 untuk pasir ringan

= 0,75 untuk beton ringan

f_y = tegangan leleh tulangan

Tulangan geser dipasang dalam bentuk sengkang pengikat dengan jarak sengkang :

$$s = L_{vh} \cdot A_{tie} / A_v$$

$$s_{max} = 4 \times \text{dimensi terkecil elemen yang didukung}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

Penulangan geser minimum:

$$A_v (\text{min}) = b_v \cdot l_{vh} / (3 f_y)$$

7.6.2. Perencanaan Sambungan Pelat Diafragma

Seperti yang telah direncanakan pada sambungan pelat dengan balok, kekuatan sambungan pelat diafragma didasarkan pada kemampuan sambungan dalam memindahkan gaya geser horisontal. Gaya geser diperoleh dari kekuatan yang dihasilkan oleh sambungan antara pelat dengan balok. Pada sambungan pelat diafragma perlu diperkuat oleh tulangan memanjang yang diletakkan sepanjang bidang temu plat.

7.6.3 Penulangan Stud/Geser Balok Induk

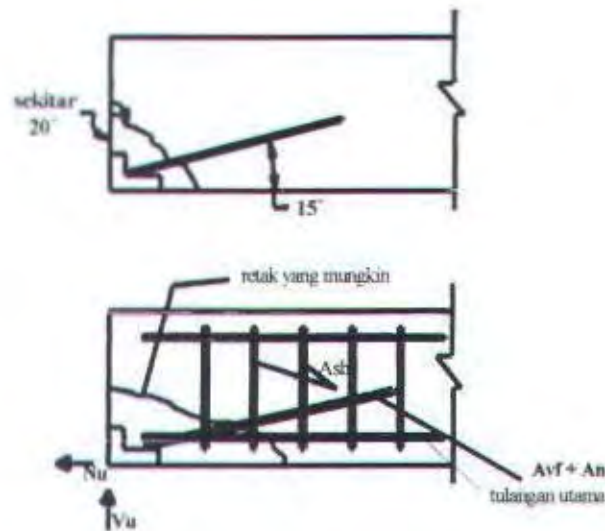
Stud berfungsi sebagai sengkang pengikat antara elemen pracetak dan elemen *cast in place*. Stud harus mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara elemen pracetak dan elemen *cast in place*. Dengan demikian kedua elemen tersebut dapat menjadi suatu elemen yang komposit dalam memikul beban.

Sebagai pendekatan, panjang balok yang mentransfer gaya geser permukaan ditentukan seperti pada gambar 7.6. Sebagai contoh, perhitungan diambil dari contoh balok 50/75 cm dengan bentang 7,00 m. Pada bentang tersebut panjang permukaan geser horisontal $L_{vh} = 6600/4 = 1650 \text{ mm}$.

7.6.4 Bearing On Plain Concrete

Jika diinginkan agar suatu elemen tidak perlu diperkuat oleh penulangan untuk mempertinggi daya dukung elemen pada bagian tepi, seperti tepi pada ujung balok yang mendukung pelat, maka perlu dilakukan pemeriksaan *hearing on plain concrete*. Menurut SKSNI T-15-1991-03, daya dukung dari *plain concrete* adalah

$$\phi V_n = \phi C_r (0,85 f_c' A_1) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 f_c' A_1$$



Gambar 7.5 Gesekan Dasar terhadap Daerah Tumpuan Balok

dimana :

$$\phi = 0,7$$

$$C_r = \left(\frac{s_w}{200} \right)^{s_w/10}$$

= 1,0 bila tidak ada gaya horisontal yang berarti

A1 = luas permukaan beton yang mendukung beton

A2 = luas proyeksi permukaan A1

Batas *bearing strength* adalah :

$$\phi V_c = 0,85 \cdot \phi \cdot f_c' \cdot b_w$$

7.6.5 Penulangan End Bearing

Jika $\phi V_u > V_n$ hasil desain *bearing on plane concrete* maka perlu penulangan *end bearing*. Penulangan end bearing berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan sudut retak adalah vertical $\theta = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal :

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{V_u}{\Phi \cdot f_y \cdot \mu} + \frac{N_u}{\Phi \cdot f_y}$$

Sudut penanaman adalah 15° seperti yang disarankan pada referensi. Sedangkan nilai μ diambil secara konservatif.

$\mu = 1.4 \lambda = 1.4 \times 1 = 1.4$ sedangkan nilai $\phi = 0.6$ untuk A_{vf} dan $\phi = 0.8$ untuk A_n .

3. Perhitungan tulangan sengkang

Perhitungan tulangan sengkang A_{sh} untuk retak horizontal adalah:

$$A_{sh} = \frac{A_t \cdot f_y}{\pi \cdot f_y}$$

7.7 Perhitungan Sambungan

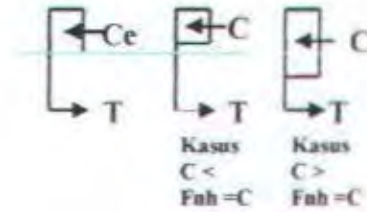
7.7.1 Perhitungan Penulangan Stud/Geser Pelat Diafragma

Sesuai dengan konsep *underreinforced* yang mengharuskan bahwa daerah tekan pada penampang pelat komposit masih mampu memikul regangan yang terjadi (sebelum terjadi retak pada beton) pada saat tulangan tarik mengalami regangan lelehnya. Dengan kata lain, tegangan yang terjadi saat itu harus mampu dipikul oleh seluruh penampang.

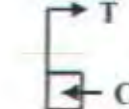
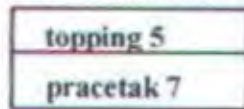
Pelat lantai sebelum dan sesudah komposit

Stud berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen pracetak dengan elemen cor ditempat. Stud harus mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen, sehingga kedua elemen tersebut dapat menjadi satu elemen komposit dalam memikul beban.

daerah momen



daerah momen



Gambar 7.6 Geser Horizontal pada pelat komposit

Menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.10.5.3 gaya geser horizontal boleh diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik di dalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horizontal ke elemen-elemen pendukung.

Ada dua macam gaya tekan yang terjadi pada penampang di daerah momen komposit, yaitu :

- Gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat

Untuk stud pelat pracetak $3.3 \times 4.0 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0.85 \times f_c' \times A_{\text{topping}} \\
 &= 0.85 \times 30 \times 50 \times 1000 \\
 &= 1275 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= T \\
 &= A_s \times f_y \\
 &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right) \times 320 \\
 &= 152.25 \text{ KN} \dots < 1275 \text{ KN (kasus a)}
 \end{aligned}$$

Jadi $F_{nh} = C = T = 152.25 \text{ KN}$

$0.6 \times A_c = 0.6 \times (b_v \times l_v)$

$$= 0.6 \times 1000 \times \frac{1650}{2}$$

$$= 495 \text{ KN} \dots > F_{nh} = 152.25 \text{ KN}$$

$F_{nh} < 0.6 A_c \dots \dots \dots$ SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.10.5.2.2 dan 3

Dipasang sengkang minimum (permukaan temu bersih dan bersih dari serpihan dan tidak dikasarkan

Menurut SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.10.6.1

Jarak sengkang pengikat minimum $\leq 4 \times$ tebal cast in place

$$\leq 4 \times 50 = 200 \text{ mm}$$

atau $\leq 600 \text{ mm}$

$$A_v \text{ min} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} = \frac{1000 \times 200}{3 \times 320} = 208.3 \text{ mm}^2$$

Dipakai stud D10 – 200 mm ($A = 1806.4 \text{ mm}^2$)

7.7.2 Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Perencanaan sambungan balok induk dengan balok anak meliputi :

1. Perkuatan penulangan ujung balok
2. Perkuatan penulangan konsol bawah balok induk

7.7.2.1 Perkuatan penulangan ujung balok

➤ Perkuatan tulangan horizontal

Bagian ujung dari balok perlu diberi perkuatan tulangan horizontal A_t . Tulangan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$V_u = 98555.6 \text{ N}$$

$$N_u = 0.2 \times V_u$$

$$= 0.2 \times 98555.6$$

$$= 19711.2 \text{ N}$$

At ditanamkan dengan sudut penanaman sebesar 15° , seperti yang disarankan oleh referensi.

Nilai $\mu = 1.4$,

$$\phi = 0.6 \quad \text{..... Untuk } A_{vf}$$

$$= 0.6 \quad \text{..... Untuk } A_n$$

$$A_t = A_{vf} + A_n$$

$$= \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu} + \frac{N_u}{\phi \cdot f_y}$$

$$= \frac{98555.6}{0.6 \times 320 \times 1.4} + \frac{19711.2}{1.4 \times 320}$$

$$= 410.6 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 3D16 ($A_t = 602.88 \text{ mm}^2$)

Perhitungan tulangan sengkang

Perhitungan tulangan sengkang A_{sh} untuk retak horizontal adalah:

$$A_{sh} = \frac{A_t \cdot f_y}{\pi \cdot f_y}$$

$$= \frac{410.6}{1.4}$$

$$= 293.3 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 2D16 ($A_t = 402.22 \text{ mm}^2$)

Perhitungan tulangan tambahan

$$A_{cv} = A_{ch}$$

$$= V_u / (0.8 \times f_y)$$

$$= 98555.6 / (0.8 \times 320)$$

$$= 384.9 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 3D16 ($A_t = 602.88 \text{ mm}^2$)

7.7.3 Perencanaan Perkuatan Penulangan Konsol Bawah Balok Induk

Data – data perencanaan :

- $V_u = 98555.6 \text{ N}$
- $N_{uc} = 0.2 \times V_u$
 $= 0.2 \times 98555.6$
 $= 19711.2 \text{ N}$
- $f_c' = 30 \text{ Mpa}$
- $f_y = 320 \text{ Mpa}$
- $b_w = 400 \text{ mm}$
- $\mu = 1.4\lambda$ beton dicor monolit
 $\lambda = 1$ Beton normal
- $\phi = 0.65$

➤ lebar pelat landasan (d)

$$V_u = \phi \cdot 0.85 f_c' \cdot A_f$$

$$\begin{aligned} d &= V_u / (\phi \times 0.85 \times f_c' \times b_w) \\ &= 98555.6 / (0.65 \times 0.85 \times 30 \times 400) \\ &= 14.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

dipakai lebar pelat landasan 50 mm

➤ Titik beban V_u pada konsol

$$a = 7.5 + \frac{1}{2} \times 5 = 10 \text{ cm}$$

➤ Tinggi konsol untuk geser (d)

$$V_{n\max} = 0.2 \times f_c' \times b_w \times d$$

$$d = V_{n\max} / (0.2 \times f_c' \times b_w)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{19711.2 / 0.65}{0.2 \times 320 \times 400} \\ &= 11.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ Tinggi konsol untuk lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &= V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h - d) \\
 &= 98555.6 \times 100 + 19711.2 \times 50 \\
 &= 10841120 \text{ Nmm} \\
 \rho_{\min} &= 1.4/f_y = 1.4/320 = 0.0044 \\
 m &= f_y/(0.85 \cdot f_c') = 320/(0.85 \times 30) = 12.55 \\
 R_n &= \rho \cdot f_y \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m \right) \\
 &= 0.0044 \times 320 \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0.0044 \times 12.55 \right) \\
 &= 1.37 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{\text{perlu}} &= \sqrt{\frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot R_n}} \\
 &= \sqrt{\frac{10841120}{0.85 \times 400 \times 1.37}} \\
 &= 152.22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

diambil d terbesar, dimana $a/d < 1$

dicoba $d = 200 \text{ mm}$

$$100/200 = 0.5 \quad \dots \quad \text{OK}$$

➤ Penulangan geser A_{vf}

$$\begin{aligned}
 A_{vf_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu} \\
 &= \frac{98555.6/0.65}{0.65 \times 320 \times 1.4} \\
 &= 520.7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Penulangan lentur A_f

$$\begin{aligned}
 R_{n_{\text{perlu}}} &= \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu} \\
 &= \frac{71185000}{0.85 \times 320 \times 200^2} \\
 &= 3.54 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{12.55} \times \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 3.54}{320}}$$

$$= 0.009$$

$$A_{f_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0.009 \times 400 \times 200 = 720 \text{ mm}^2$$

➤ Tulangan tambahan A_n

$$A_n = N_{uc} / (\phi \cdot f_y)$$

$$= 19711.2 / (0.65 \times 320)$$

$$= 94.76 \text{ mm}^2$$

➤ Tulangan tarik utama total A_s

$$A_{s1} = A_f + A_n$$

$$= 720 + 94.76$$

$$= 814.76 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 2/3 \times (A_{vf} + A_n)$$

$$= 2/3 \times (520.7 + 94.76)$$

$$= 410.5 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} = 2000.6 \text{ mm}^2$$

Digunakan 5D16 ($A_s = 1004.8 \text{ mm}^2$)

➤ Persyaratan sengkang

$$A_{h_{\text{min}}} = 1/2 \times (A_s - A_n)$$

$$= 1/2 \times (814.6 - 94.76)$$

$$= 719.8 \text{ mm}^2$$

digunakan 4D16 ($A_s = 803.84 \text{ mm}^2$)

sengkang ikat harus disebar merata sepanjang $2/3d$

➤ Panjang penanaman A_s

L_d ada = b – selimut – $1/2$ diameter tulangan A_s

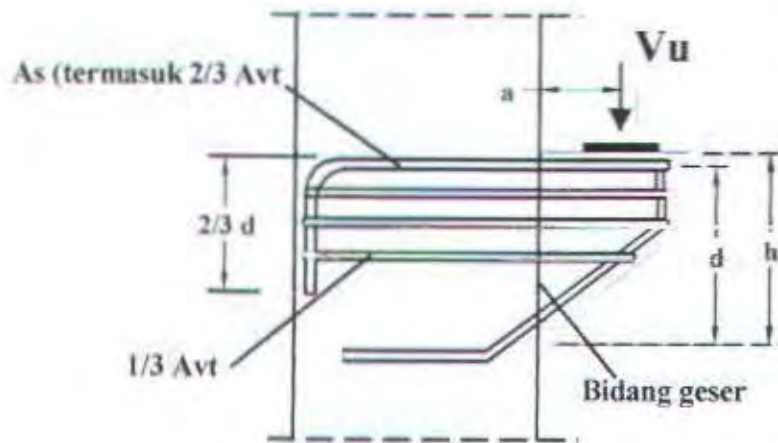
$$= 400 - 50 - 1/2 \times 16$$

$$= 342 \text{ mm}$$

7.7.4 Perencanaan Sambungan Balok Induk - Kolom

7.7.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Tumpuan dari balok induk yang menumpu pada kolom direncanakan dengan konsol pendek.



Gambar 7.4 Sistem Penulangan Konsol Pendek

SKSNIT-15-1991-03 pasal 3.4.9 memberikan tata cara perencanaan konsol pendek dengan nilai bentang retak dan tinggi efektif a/d tidak lebih dari 1 dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Gaya horizontal terfaktor N_{uc} tidak lebih besar dari gaya geser terfaktor V_u
2. Penampang pada muka tumpuan harus direncanakan untuk secara bersamaan memikul gaya geser V_u , momen $\{V_u \cdot a + N_{uc} (h-d)\}$ dan gaya tarik horizontal N_{uc} .
3. Untuk semua perhitungan perencanaan konsol pendek menggunakan factor reduksi kekuatan $\phi = 0,6$, sedangkan pada tumpuan digunakan $\phi = 0,7$.
4. Tulangan A_f harus diperhitungkan untuk menahan lentur sebesar $\{V_u \cdot a + N_{uc} (h-d)\}$
5. Perhitungan tulangan geser friksi A_{vf} harus dihitung sesuai dengan SKSNI T-1991-03 pasal 3.4.7 dengan ketentuan tambahan

- a. untuk beton normal, kuat geser V_u tidak boleh lebih besar dari nilai-nilai $0,2 f_c' b_w d$ atau $5,5 b_w d$.
- b. untuk beton ringan total atau beton ringan berpasir, kuat geser V_u tidak boleh lebih dari $(0,2 - 0,07) f_c' b_w d$ atau $(5,5 - 1,9) b_w d$
6. Perhitungan tulangan A_n yang berfungsi memikul gaya tarik horizontal N_{uc} ditentukan berdasarkan $N_{uc} < \phi A_n F_y$
7. Gaya tarik terfaktor N_{uc} harus dianggap sebagai beban hidup walaupun gaya tersebut terjadi akibat rangkai, susut atau perubahan suhu, dan N_{uc} tidak boleh kurang dari $0,2 V_u$ kecuali bila digunakan cara khusus untuk mencegah terjadinya gaya tarik.
8. Penampang kritis pada konsol pendek adalah pada sisi muka tumpuan yaitu ditempat dimana tinggi efektif harus diukur, dan tinggi efektif tidak boleh kurang dari dua kali tinggi ujung luar d_1 .
9. Luas tulangan tarik utama A_s harus diambil sama dengan nilai terbesar dari $(A_f + A_n)$ dan $(2/3 A_{vf} + A_n)$
10. Tulangan geser sengkang A_h dipasang sejajar dengan A_s dengan luas tidak kurang dari $0,5 \times (A_s - A_n)$ dan disebar merata dalam batas $2/3$ tinggi efektif
11. Ratio penulangan $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \geq 0,04 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right)$

Contoh perhitungan pada Balok induk lantai 6 (B19)

Dari output ETABS didapatkan $V_u = 140985,3 \text{ N}$

- $b_w = 400 \text{ mm}$
- $d = 500 \text{ mm}$
- $h = 550 \text{ mm}$
- $f_c = 30 \text{ Mpa}$
- $f_y = 320 \text{ Mpa}$
- $l_p = 300 \text{ mm}$
- $a = 150 \text{ mm}$

$$\bullet a/d = 0.3 \text{ mm}$$

$$V_n = V_u/\phi = 140985.3/0.6 = 234975 \text{ N}$$

$$0.2 \times f_c \times b_w \times d = 0.2 \times 30 \times 400 \times 500 = 1200000 \text{ N} > V_n$$

$$5.5 \times b_w \times d = 5.5 \times 400 \times 500 = 1100000 \text{ N} > V_n$$

Menentukan Luas Tulangan Geser Frikst

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal = $\mu = 1.4$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} = \frac{234975}{320 \times 1.4} = 524.5 \text{ mm}^2$$

Menentukan luas tulangan lentur

$$N_{uc} = 0.2 V_u = 28198 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{M_u}{\phi \cdot f_y + \text{lengan}} = \frac{V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h - d)}{\phi \cdot f_y + \text{lengan}} \\ &= \frac{140985.3 \times 150 + 28198 \times (550 - 500)}{0.65 \times 320 \times (0.85 \times 500)} \\ &= 255.1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{28189}{0.65 \times 320} = 135.5 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2/3 \times (A_{vf} + A_n) = 2/3 \times (524.5 + 135.5) = 660 \text{ mm}^2 \dots \text{menentukan}$$

$$A_s = A_f + A_n = 255.1 + 135.5 = 390.6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0.04 \times \frac{f_c'}{f_y} \times b \times d \\ &= 0.04 \times \frac{30}{320} \times 400 \times 500 \\ &= 750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diambil } A_s = 750 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan 4D16} = 803.8 \text{ mm}^2$$

$$A_h = 1/2 \times (A_s - A_n) = 1/2 \times (750 - 135.5) = 614.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai sengkang D10} = 2 \times 5 \times 78.5 = 785 \text{ mm}^2$$

Dipasang sepanjang $(2/3)d = 333.3 \text{ mm}^2$ (vertikal) dipasang 5D10 dengan spasi $333.3/3 = 111.1 \text{ mm}$

Dipasang pula tulangan 5D10 sebagai rangka

Menentukan Luas Pelat Landasan

$$V_u = \phi \times 0.85 \times f_c' \times A_1$$

$$A_1 = \frac{140985.3}{0.85 \times 30 \times 0.65} = 8505.9 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $400 \times 200 \text{ mm}^2$, dengan tebal 15 mm

7.7.4.2 Perencanaan Reinforced Concrete Bearing pada Balok

Perkuatan Tulangan Horizontal (A_t)

Bagian ujung balok diberi perkuatan tulangan horizontal A_t . Tulangan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu} + \frac{N_u}{\phi \cdot f_y}$$

Dimana

$$V_u = 140985 \text{ N}$$

$$N_u = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 14098.5 = 2819.7 \text{ N}$$

A_t ditanam dengan sudut 15° seperti yang disarankan referensi, nilai $\mu = 1.4$, $\phi = 0.6$, untuk A_{vf} dan $\phi = 0.8$ untuk A_n

$$A_t = \frac{140985}{0.6 \times 320 \times 1.4} + \frac{28197}{0.8 \times 320} = 634.6 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 3D19 ($A_t = 850.15 \text{ mm}^2$)

➤ Tulangan Sengkan (A_{sh})

Tulangan sengkang digunakan untuk mencegah retak arah horizontal

$$A_{sh} = \frac{A_t \cdot f_y}{\mu \cdot f_y} = \frac{634.320}{1.4 \cdot 320} = 452.9 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 2D19 ($A_{cv} = 566.7 \text{ mm}^2$)

➤ Tulangan Pengikat Tambahan (A_{cv})

$$A_{cv} = A_{ch}$$

$$\frac{V_u}{8 \times f_y} = \frac{140985}{8 \times 320} = 55.1 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 2D19 ($A_{cv} = 566.7 \text{ mm}^2$)

BAB VIII

PERENCANAAN PONDASI

BAB VIII

PERENCANAAN PONDASI

8.1 Perencanaan Pondasi Pada Struktur Utama

8.1.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung vertikal tiang dihitung berdasarkan kombinasi tahanan gesekan (*friction*) dan tahanan ujung (*end bearing*). Data tanah yang digunakan untuk perencanaan daya dukung didapat dari hasil SPT, dengan ujung sampai tanah keras $q_c \geq 150 \text{ kg/cm}^2$ atau nilai SPT ≥ 30 (*end bearing pile*).

Menurut Terzaghi dan Meyerhof :

$$Q_{sp} = \frac{1}{FK} \left(f_b A_b + U \sum_{i=1}^n l_i f_{ui} \right)$$

Di mana :

Q_{sp} = daya dukung vertikal yang diijinkan untuk sebuah tiang tunggal (ton)

FK = faktor keamanan (diambil 3.0)

f_b = tahanan ujung tiang (ton/m^2)

A_b = luas penampang ujung tiang (m^2)

U = keliling tiang (m)

l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (m)

f_{ui} = intensitas tahanan geser tiang (ton/m^2)

Tabel 8.1 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang Pancang

| Jenis Tanah | Tiang Pracetak | Tiang Cor Setempat |
|----------------|------------------------|----------------------------|
| Tanah Kohesif | C atau N (≤ 12) | C/2 atau N/2 (≤ 12) |
| Tanah Berpasir | N/5 (≤ 10) | N/2 (≤ 12) |

Direncanakan (*titik BH4 dari data tanah pada lampiran*) memakai tiang pancang :

Diameter tiang pancang (D) = 50 cm

Panjang tiang pancang = 22 m

Luas tiang pancang (A_b) = $\frac{1}{4} \pi D^2$ = 0,196 m^2

$$\text{Keliling tiang pancang } (U) = \pi D = 1.57 \text{ m}$$

Menghitung Daya Dukung Pada Ujung Tiang Pancang.

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2}{2} \leq 40$$

di mana :

\bar{N} = Nilai N rata-rata untuk perencanaan tahanan ujung tiang

N_1 = Nilai N pada ujung tiang

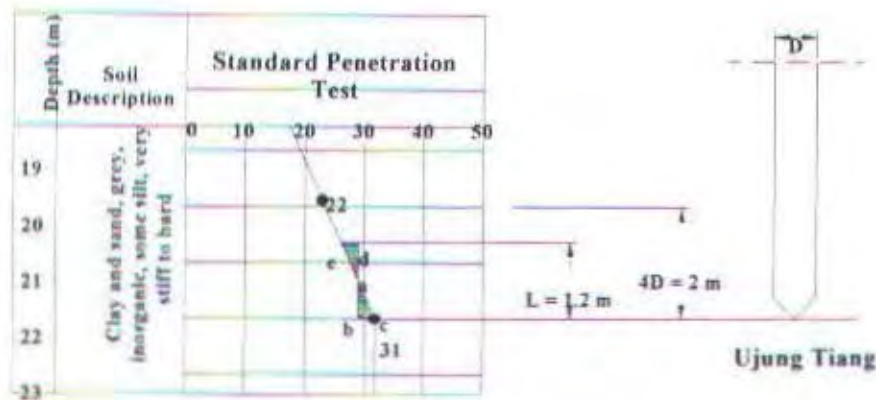
N_2 = Nilai N rata-rata sepanjang $4D$ dari ujung tiang

Dari data sondir diperoleh nilai :

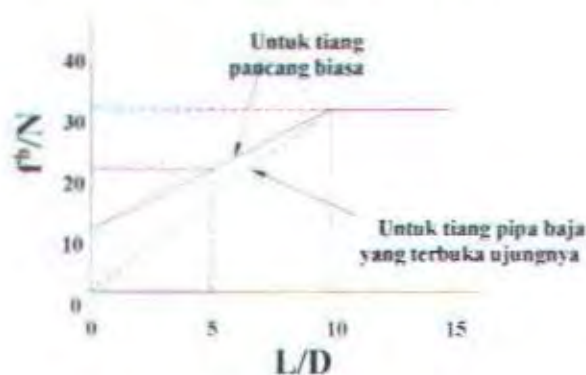
$$N_1 = 31 \quad \text{dan} \quad N_2 = \frac{22 + 24 + 26 + 29 + 30 + 31}{6} = 26.83$$

$$\bar{N} = \frac{31 + 26.83}{2} = 28.91 < 40 \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Nilai f_b diperoleh dari gambar di bawah ini :



Gambar 8.1 Diagram Untuk Mencari L .



Gambar 8.2 Diagram Mencari f_b

l adalah panjang ekivalen pemancangan ke dalam lapisan pendukung (m) dihitung sebagai berikut :

- menentukan titik h pada ujung tiang dengan harga \bar{N} .
 - menentukan garis tegak db sehingga luas Dabc sama dengan luas Dade
- hitung panjang garis tegak lurus tersebut sebagai l .

Dari gambar 5.1 didapat $l = 1.2$ m

$$l/D = 1.2/0.5 = 2.4 \text{ sehingga dari gambar 5.2 didapat } f_b/\bar{N} = 14$$

$$f_b = 14 \bar{N} = 14 \cdot 28.91 = 404.74 \text{ t/m}^2$$

Kemampuan daya dukung ujung tiang

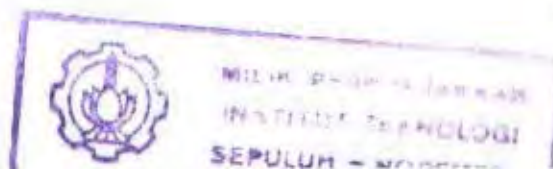
$$Q_p = f_b A_b = 404.74 \times 0.196 = 79.33 \text{ ton}$$

Menghitung Gaya Geser Maximum Pada Dinding Tiang Pancang.

Langkah pertama adalah menentukan harga rata-rata N bagi lapisan-lapisan tanah, selanjutnya besarnya gaya geser maximum dinding tiang dapat diperkirakan sebagaimana berikut ini :

Tabel 8.2 Perhitungan Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang Pancang

| Kedalaman (m) | Ketebalan lapisan l_i (m) | Tanah | Har ga rata- rata N | f_i (ton/m ²) | $l_i f_i$ (ton/ m) |
|------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 0 - 1 | 1 | Clay, brown, inorganic, some silt, trace sand | 0 | 0 | 0 |
| 1 - 6 | 5 | Clay, grey, inorganic, some silt, some sand | 0 | 0 | 0 |
| 6 - 9 | 3 | Clay, grey, inorganic, some silt, trace sand, soft | 0.2 | 0.2 | 0.6 |



| | | | | | |
|-----------|-----|--|-----------|-----|--------------------------|
| 9 – 10 | 1 | Clay, grey, inorganic, some silt, some sand | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| 10 – 12 | 2 | Clay, grey, inorganic, some silt, little sand, medium | 6.5 | 6.5 | 13 |
| 12 – 18.5 | 6.5 | Clay, grey, inorganic, some silt, little sand, stiff | 12.2 5 | 12 | 78 |
| 18.5 – 22 | 3.5 | Clay, grey, inorganic, some silt, very stiff | 22.6 7 | 12 | 42 |
| | | | | | $\Sigma l_i f_i = 136.2$ |

Total gaya geser maximum pada dinding tiang

$$Q_f = U \Sigma l_i f_u = 1.57 \times 136.2 = 213.83 \text{ ton}$$

$$Q_{sp} = \frac{1}{3}(Q_p + Q_f) = 97.723 \text{ ton} = 97723 \text{ kg}$$

Daya Dukung Pondasi Berdasarkan Mutu Bahan

Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang produk WIKA dengan data-data sebagai berikut :

Diameter = 50 mm

$$Q_{bahan} = 185.30 \text{ ton}$$

$$= 185300 \text{ kg}$$

Sehingga daya dukung $Q_{sp} = 97723 \text{ kg}$ lebih menentukan.

8.1.2 Daya Dukung Kelompok Tiang Pancang Kelompok

Dari output ETABS didapatkan gaya dalam yang bekerja pada pondasi yaitu :

1. Beban Sementara (COMB 12 joint 15)

- Axial : $P = 86718.6 \text{ kg}$
 Momen : $M_x = 15288.19 \text{ kg-m}$ $M_y = 2061.47 \text{ kg-m}$
 Gaya Horizontal : $H_x = 342.18 \text{ kg}$ $H_y = 2445.5 \text{ kg}$

2. Beban Tetap (COMB 11 joint 15)

- Axial : $P = 107039.6 \text{ kg}$
 Momen : $M_x = 1345.17 \text{ kg-m}$ $M_y = 24647.7 \text{ kg-m}$
 Gaya Horizontal : $H_x = 3174.4 \text{ kg}$ $H_y = 465.6 \text{ kg}$

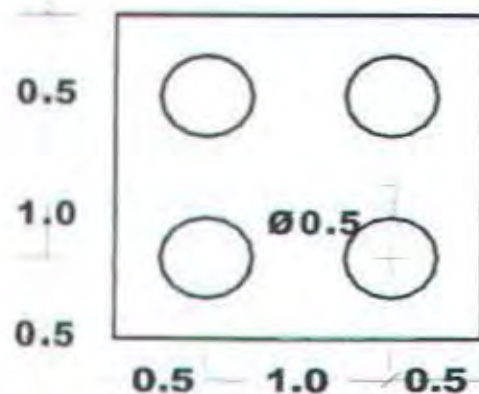
Efisiensi Kelompok Tiang Pancang

Jarak antar tiang (S) = 1.00 m sehingga efisiensi kelompok tiang menurut CONVERSE-LABARRE adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Eff &= 1 - \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{\phi}{S} \right) \left(\frac{(m-1)n + (n-1)m}{90mn} \right) \right\} \\ &= 1 - \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{500}{1000} \right) \left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right) \right\} \\ &= 0.84 \end{aligned}$$

Sehingga $Q_{gm} = 0.84 \cdot 97723 \text{ kg} = 83300 \text{ kg}$

Direncanakan dimensi poer : 2.00 m x 2.00 m x 1 m dengan 4 buah tiang pancang $\varnothing 50$ cm seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 8.3 Gambar Perletakan Tiang Pancang

Dari gambar di atas dapat diketahui :

$$X_{max} = 0.5 \text{ m}$$

$$Y_{max} = 0.5 \text{ m}$$

$$\sum X^2 = 4(0.5)^2 = 1 \text{ m}^2$$

$$\sum Y^2 = 4(0.5)^2 = 1 \text{ m}^2$$

Momen tambahan akibat gaya horisontal dengan tebal poer 1 m :

$$\text{Akibat beban sementara} \quad : \quad M_x = 342.18 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} = 342.18 \text{ kg-m}$$

$$M_y = 2445.5 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} = 2445.5 \text{ kg-m}$$

$$\text{Akibat beban tetap} \quad : \quad M_x = 3174.4 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} = 3174.4 \text{ kg-m}$$

$$M_y = 465.5 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} = 465.5 \text{ kg-m}$$

Gaya normal yang terjadi berdasarkan beban sementara :

$$\text{- Gaya dari kolom (P)} = 86718.6 \text{ kg} = 86718.6 \text{ kg}$$

$$\text{- Berat sloof} = 0.4 \times 0.7 \times 5.6 \times 2400 = 4435.2 \text{ kg}$$

$$\text{- Berat sendiri poer} = 2 \times 2 \times 1 \times 2400 = 9600 \text{ kg}$$

$$\sum V = 100753.8 \text{ kg}$$

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x Y_{max}}{\sum Y^2} + \frac{M_y X_{max}}{\sum X^2}$$

$$= \frac{100753.8}{4} + \frac{(342.18 + 15288.19) 0.5}{1} + \frac{(2445.5 + 2061.47) 0.5}{1}$$

$$= 83300 \text{ kg} < 70360.56 \text{ kg} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Gaya normal yang terjadi berdasarkan beban tetap :

$$\text{- Gaya dari kolom (P)} = 107039.6 \text{ kg} = 107039.6 \text{ kg}$$

$$\text{- Berat sloof} = 0.4 \times 0.7 \times 5 \times 2400 = 4435.2 \text{ kg}$$

$$\text{- Berat sendiri poer} = 2 \times 2 \times 1 \times 2400 = 9600 \text{ kg}$$

$$\sum V = 121074.4 \text{ kg}$$

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x Y_{max}}{n_x \sum Y^2} + \frac{M_y X_{max}}{n_y \sum X^2}$$

$$= \frac{121074.4}{4} + \frac{(1345.2 + 3174.4) 0.5}{1} + \frac{(24647.7 + 2445.5) 0.5}{1}$$

$$= 43870.32 \text{ kg} < 70360.56 \text{ kg} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

8.1.3 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang

Faktor kekakuan relatif :

$$T = \sqrt[3]{\frac{EI}{n_h}} \quad ; \text{ di mana :}$$

$$E = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{60} = 36406.04 \text{ MPa} = 357143.28 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \frac{1}{64} D^4 = \frac{1}{64} 50^4 = 97656.25 \text{ cm}^4$$

Dari buku *Pile Design and Construction Practice (M. J. Tomlinson)* nilai n_h untuk tanah kohesive dapat dipakai :

untuk normally consolidated : 350 KN/m³ s/d 700 KN/m³

untuk soft organic silts : 150 KN/m³

Dari data-data tersebut dipakai nilai :

$$\begin{aligned} n_h &= 500 \text{ KN/m}^3 \\ &= (500 \cdot 10^3) / 9.81 \\ &= 50968.39 \\ &= 0.051 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga nilai :

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[3]{\frac{35714.2 \times 97656}{0.051}} \\ &= 4089.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diasumsikan bahwa tanah mempunyai modulus tanah yang bertambah secara linear, kedalaman sampai pada taraf penjepitan lateral adalah :

$$\begin{aligned} Z_f &= 1.8 T \\ &= 1.8 \cdot 217.2 = 390.1 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kekuatan bahan pondasi :

$$\sigma_{maks} = f_c' = 600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (dari brosur tiang pancang WKA pada lampiran)}$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{I}{y} \quad ; \text{ di mana nilai } y = \frac{1}{2} D = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ cm} = 25 \text{ cm} \\ &= \frac{97656}{25} = 3906.2 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_f &= \sigma_{maks} W \\
 &= 600 \times 3906.2 \\
 &= 2343744 \text{ kg.cm} \\
 &= 23437.44 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Untuk fixed head :

$$\text{Momen } (M_f) = F_m H T$$

$$\text{Defleksi, } y_f = \frac{F_y H T^3}{EI}$$

$$L = 22 \text{ meter}$$

$$\frac{L}{T} = \frac{22}{2.17} = 10.14$$

$Z = 0$ (momen dan defleksi yang dicari berada di ujung tiang)

Dari grafik *coeffisients for deflection* dan *coeffisients bending moment* didapat :

$$F_m = -0.93$$

$$F_y = 0.94$$

Beban lateral yang dapat ditahan tiang adalah :

$$H = \frac{M_f}{F_m T} = \frac{23437.44}{(-0.93) \times 2.17} = -11613.6 \text{ kg}$$

Defleksi di ujung tiang yang terjadi sebesar :

$$y_f = \frac{F_y H T^3}{EI} = \frac{0.94 \times 11613.6 \times 217.21^3}{357143.3 \times 97656} = 3.2 \text{ cm}$$

Effisiensi daya dukung lateral, dianggap bahwa tiang pada *baris pertama* yang terkena beban akan memikul 100% gaya lateral dan tiang pada *baris kedua* hanya menerima 25% dari gaya lateral sehingga jumlah tiang, $n = 2.5$

$$H_{u \text{ tiang}} = H_u / n = 3174.4 / 2.5 = 1269.8 \text{ kg}$$

Daya dukung lateral tiang pancang adalah $11613.65 \text{ kg} > 1269.8 \text{ kg}$

8.1.4 Perencanaan Poer Pondasi (*Pile Cap*)

Data-data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi poer :} \quad & \text{- tinggi } (h') = 1000 \text{ mm} \\
 & \text{- lebar } (b) = 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{- panjang } (l) = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{- } \phi_{\text{bat. utama}} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

Tinggi efektif balok poer

$$d_x = 1000 - (50 + \frac{1}{2} \cdot 19) = 940.5 \text{ mm}$$

$$d_y = 1000 - (50 + 25 + \frac{1}{2} \cdot 19) = 921.5 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu bahan : } f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$P_u = 107039.6 \text{ kg}$$

$$M_{ux} = 1345.17 \text{ kg-m} \quad M_{uy} = 24647.7 \text{ kg-m}$$

$$H_{ux} = 3174.4 \text{ kg} \quad H_{uy} = 465.6 \text{ kg}$$

Tambahan momen akibat ketebalan poer 1.00 m :

$$M_{ux} = 3174.4 \times 1 = 3174.4 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = 465.1 \times 1 = 465.1 \text{ kgm}$$

Gaya normal yang terjadi akibat beban terfaktor

:

$$P_u = 100753.8 \text{ kg}$$

$$\text{Berat sloof} = 1.2 \times 0.4 \times 0.7 \times 5.6 \times 2400 = 4515.8 \text{ kg}$$

$$\text{Berat sendiri poer} = 1.2 \times 2 \times 2 \times 1 \times 2400 = 11520 \text{ kg}$$

$$\Sigma V_u = 116789.6 \text{ kg}$$

$$P_{u \text{ max}} = \frac{\Sigma V}{n} + \frac{M_x Y_{\text{max}}}{n_x \Sigma Y^2} + \frac{M_y X_{\text{max}}}{n_y \Sigma X^2}$$

$$= \frac{116789}{4} + \frac{(1345 + 3174)0.5}{1} + \frac{(24647.07 + 465.1)0.5}{1}$$

$$= 44012.8 \text{ kg}$$

Untuk perhitungan pembebanan pada poer diasumsikan poer sebagai balok kantilever yang dijepit pada bagian kolom, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah:

$$\text{- panjang } (l) = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{- } \phi_{tul. \text{ utama}} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

Tinggi efektif balok poer

$$d_x = 1000 - (50 + \frac{1}{2} \cdot 19) = 940.5 \text{ mm}$$

$$d_y = 1000 - (50 + 25 + \frac{1}{2} \cdot 19) = 921.5 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu bahan : } f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$P_u = 107039.6 \text{ kg}$$

$$M_{ux} = 1345.17 \text{ kg-m} \quad M_{uy} = 24647.7 \text{ kg-m}$$

$$H_{ux} = 3174.4 \text{ kg} \quad H_{uy} = 465.6 \text{ kg}$$

Tambahan momen akibat ketebalan poer 1.00 m :

$$M_{ux} = 3174.4 \times 1 = 3174.4 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = 465.1 \times 1 = 465.1 \text{ kgm}$$

Gaya normal yang terjadi akibat beban terfaktor

$$P_u = 100753.8 \text{ kg}$$

$$\text{Berat sloof} = 1.2 \times 0.4 \times 0.7 \times 5.6 \times 2400 = 4515.8 \text{ kg}$$

$$\text{Berat sendiri poer} = 1.2 \times 2 \times 2 \times 1 \times 2400 = 11520 \text{ kg}$$

$$\Sigma V_u = 116789.6 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P_{u \text{ max}} &= \frac{\Sigma V}{n} + \frac{M_x Y_{\text{max}}}{n_x \Sigma Y^2} + \frac{M_y X_{\text{max}}}{n_y \Sigma X^2} \\ &= \frac{116789}{4} + \frac{(1345 + 3174) 0.5}{1} + \frac{(24647.07 + 465.1) 0.5}{1} \\ &= 44012.8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan pembebanan pada poer diasumsikan poer sebagai balok kantilever yang dijepit pada bagian kolom, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah:



$$q_u = 1.2 \times 2 \times 2400 = 5760 \text{ kg/m}$$

$$V_u = 2P_u - q_u \times 1 = 2 \times 44012.8 - 5760 \times 1 = 82265.6 \text{ kg} \\ = 822656 \text{ N}$$

$$M_u = 2P_u \times 0.5 - \frac{1}{2} \cdot q_u \times 1 \\ = 2 \times 44012.8 \times 0.5 - \frac{1}{2} \times 5760 \times 1^2 \\ = 41132.8 \text{ kg-m} \\ = 411328000 \text{ mm}$$

Penulangan Lentur Poer

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{411328000}{0.8 \times 1000 \times 912.5^2} = 0.617$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.68$$

$$\rho_{min} = 0.002$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.68 \times 0.617}{400}} \right) = 0.0005$$

$$A_s = \rho b d \\ = 0.002 \times 1000 \times 921.5 = 2461.3 \text{ mm}^2$$

Dipasang D25-150 ($A_s = 2661 \text{ mm}^2$)

Penulangan Geser Poer

$$V_u = 822656 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.6 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d = 0.6 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 2000 \times 912.5 \\ = 999593.7 \text{ N}$$

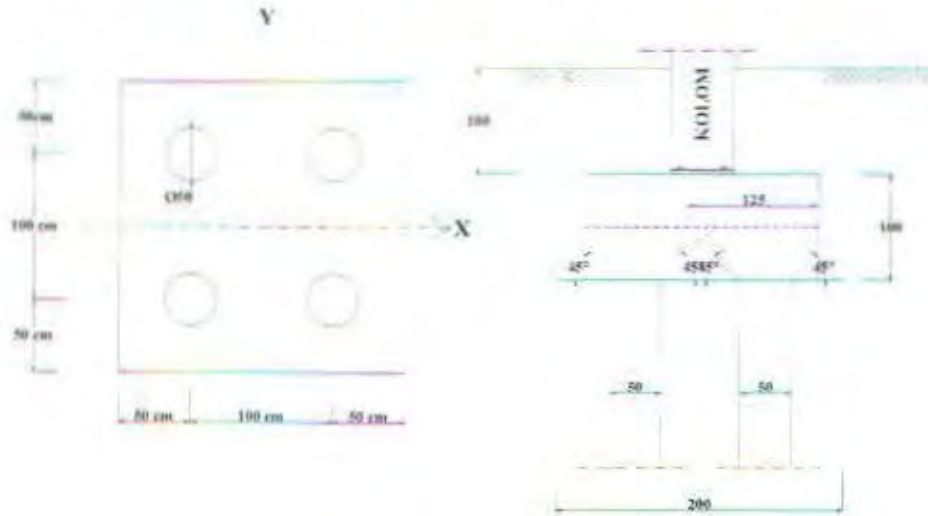
$V_u < \phi V_c$ maka tidak diperlukan tulangan geser.

Kontrol Geser Pons

Akibat Dari Tiang Pancang

$$\beta_c = \text{rasio panjang dan pendek ukuran tiang} = 50/50 = 1$$

$$b_o = \text{keliling kritis} = \pi D_{kritis} = \pi \cdot 150 \text{ cm} = 471.23 \text{ cm} = 4712.3 \text{ mm}$$



Gambar 8.4 Ratio pancang terhadap geser pons

$$\begin{aligned} V_c &= \left[1 + \frac{2}{\beta_c} \right] \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_o d \\ &= \left[1 + \frac{2}{1} \right] \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 4712.3 \times 91.5 = 11914822.27 \text{ N} \end{aligned}$$

Tidak boleh lebih besar dari :

$$\begin{aligned} V_c &= 1/3 \sqrt{f_c'} b_o d \beta_c \\ &= 1/3 \sqrt{30} \times 4712.3 \times 91.5 \times 1 \\ &= 7842791.42 \text{ N (menentukan)} \end{aligned}$$

$$V_u = \frac{P_u \text{ maks.}}{\phi} = \frac{44012.5}{0.6} = 73354.1 \text{ kg} = 733541 \text{ N}$$

$$V_u < V_c$$

Sehingga tulangan geser pons tidak diperlukan.

Akibat Dari Kolom

$$\beta_c = \text{rasio panjang dan pendek ukuran tiang} = 80/80 = 1$$

$$b_o = \text{keliling kritis} = 2 (1300 \text{ mm} + 1300 \text{ mm}) = 5200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left[1 + \frac{2}{\beta_c} \right] \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_o d \\ &= \left[1 + \frac{2}{1} \right] \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 5200 \times 921.5 = 13122884.76 \text{ N (menentukan)} \end{aligned}$$

Tidak boleh lebih besar dari :

$$\begin{aligned} V_c &= 1/3 \sqrt{f_c'} b_o d \beta_c \\ &= 1/3 \sqrt{30} \cdot 5200 \times 921.5 \times 1 \\ &= 8661103.9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = \frac{P_{u, \text{kolom}} - 4 \times P_{u, \text{maks tiang pancang}}}{\phi} = \frac{107039.6 - 4 \times 44012.8}{0.6} < 0$$

$$V_u < V_c$$

Sehingga tulangan geser pons tidak diperlukan.

8.1.5 Perencanaan Sloof Pondasi

Penentuan dimensi sloof dilakukan dengan mempertimbangkan syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak melampaui tegangan tarik ijin beton yang ada (f_{ct}). Gaya aksial yang bekerja diambil sebesar 10% dari beban aksial kolom yang terjadi pada kondisi pembebanan gempa.

Penulangan Balok Sloof Akibat Beban Aksial dan Lentur

$$\text{Ukuran sloof} : b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$A_g = 240000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Mutu bahan} : f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{y, \text{tul. utama}} = 400 \text{ MPa}$$

$$f_{y, \text{tul. sengkang}} = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut Beton} = 50 \text{ mm}$$

Tulangan utama = D22

Tulangan sengkang = Ø10

Tinggi efektif (d) = $600 - (50 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 22) = 529 \text{ mm}$

Beban-beban yang terjadi pada sloof :

- Berat sendiri sloof = $1.2 \times 0.4 \times 0.7 \times 2400 = 691.2 \text{ kg/m}$

- Berat dinding = $1.2 \times 5.8 \times 250 = 1740 \text{ kg/m}$

$q_u = 2431.2 \text{ kg/m}$

$$M_u \text{ tumpuan} = 1/12 q_u L^2$$

$$= 1/12 \times 2431.2 \times 6.6^2 = 6825.3 \text{ kgm} = 68253000 \text{ Nmm}$$

$$M_u \text{ lapangan} = \frac{1}{2} M_u \text{ tumpuan} = 44126500 \text{ Nmm}$$

Gaya tekan pada sloof

$$P_u = 10\% P_u \text{ kolom}$$

$$= 10\% \times 107039.6$$

$$= 10703.96 \text{ kg}$$

$$= 107039.6 \text{ N}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

$$= \frac{68253000}{107039.6} = 637.6 \text{ mm}$$

$$\frac{P_u}{\phi A_g 0.85 f_c'} = \frac{107039.6 \text{ N}}{0.65 \times 280000 \times 0.85 \times 30} = 0.024$$

$$\frac{P_u}{\phi A_g 0.85 f_c'} \left[\frac{e}{h} \right] = \frac{107039.6}{0.65 \times 280000 \times 0.85 \times 30} \left[\frac{637.6}{660} \right] = 0.023$$

dari diagram interaksi didapat :

$$r = 0.01$$

$$\rho = r \beta = 1.2 \times 0.01 = 0.012 \quad ; \text{ di mana } \beta \text{ untuk } f_c' = 30 \text{ adalah } 1.2$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ tumpuan} &= \rho h d \\ &= 0.012 \times 400 \times 629 \text{ mm} \\ &= 2539.2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang 8/D22 ($A_s = 3041 \text{ mm}^2$) untuk daerah tumpuan

Dipasang 4/D22 ($A_s = 1512 \text{ mm}^2$) untuk daerah lapangan

Kontrol terhadap gaya tarik pada sloof, gaya tarik diambil sebesar gaya tekan = 107039.6 N. Gaya tarik ini akan ditahan seluruhnya oleh tulangan balok sloof.

$$T = A_s f_y$$

$$107039.6 \text{ N} = A_s \cdot 400 \text{ MPa}$$

$$A_s = 267.59 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipasang tulangan utama 4D22.

Penulangan Geser Sloof

Gaya geser maksimum di tumpuan :

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L$$

$$= \frac{1}{2} \times 2431.2 \times 6.6 \text{ m}$$

$$= 8022.96 \text{ kg} = 80229.6 \text{ N}$$

$$V_c = 2 \left(1 + \frac{P_u}{14 A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 2 \left(1 + \frac{107039.6}{14 \times 280000} \right) \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 400 \times 629$$

$$= 584788.8 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 584788.8 = 350873.2 \text{ N}$$

Karena $V_u < \phi V_c$, maka dipasang tulangan geser minimum.

Direncanakan $\phi_{\text{seriangan}}$ digunakan 10 mm ($A_v = 157 \text{ mm}^2$)

$$S_{\text{maks}} = d/4 = 132.25 \text{ mm dipasang } \phi 10\text{-}125 \text{ mm (untuk daerah tumpuan)}$$

Direncanakan $\phi_{\text{seriangan}}$ digunakan 10 mm ($A_v = 157 \text{ mm}^2$)

$$S_{\text{maks}} = d/2 = 264.50 \text{ mm dipasang } \phi 10\text{-}250 \text{ mm (untuk daerah lapangan).}$$

BAB IX
PELAKSANAAN

BAB IX

PELAKSANAAN

9.1 Umum

Dalam bab pelaksanaan ini selain diuraikan mengenai item pekerjaan secara umum, ditinjau pula mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material pracetak

Dalam mencetak elemen struktur pracetak, ada dua proses yang biasa dilakukan, yaitu :

1. Proses pencetakan secara pabrikasi di industri pracetak

Dengan proses pabrikasi perlu diperhatikan :

- Terbatasnya fleksibilitas yang tersedia untuk elemen disebabkan harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang telah disepakati dalam bentuk kelipatan suatu modul
- Perlunya standar khusus sehingga hasil pracetak dapat dipakai secara umum di masyarakat
- Cara ini memungkinkan mencari produk yang terbaik dari lain pabrik

2. Proses pencetakan di lapangan/lokasi proyek

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan

- Proses ini sering dilakukan pada proyek – proyek lokal
- Umur dari proses produksi pencetakan disesuaikan dengan usia proyek
- Proses ini lebih disukai dimungkinkann untuk dilaksanakan dikarenakan standarisasi hasil pencetakan disesuaikan dengan keperluan proyek.

9.2 Proses Produksi Elemen Beton Pracetak

Setelah proses pengecoran, perawatan dilakukan untuk menghindari penguapan air semen sehingga mutu beton yang direncanakan sudah memenuhi.

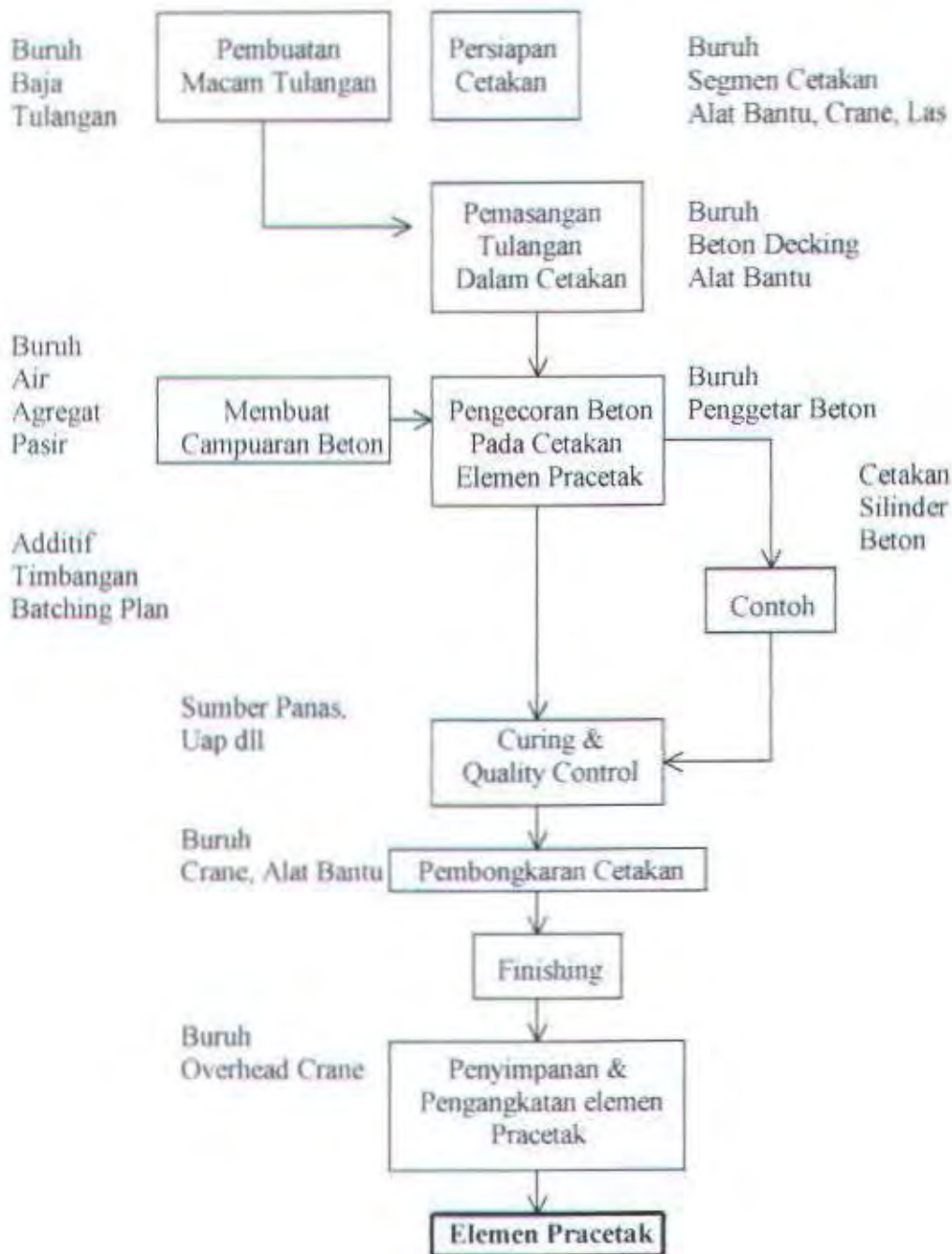
Pembukaan bekisting dilakukan setelah kekuatan beton mencapai 20% - 60% dari kekuatan akhir yang dapat tercapai, kurang lebih umur 3 – 7 hari pada suhu kamar.

Syarat cetakan :

Volume stabil untuk pencetakan berulang, Mudah ditangani, tidak bocor dan Mudah untuk dipindahkan untuk pelaksanaan di proyek

Setelah pembongkaran bekisting, dilakukan finishing elemen beton pracetak

Secara *skematis* proses produksi elemen beton pracetak digambarkan dalam bagan berikut ini :



9.3 Penumpukan Elemen Balok Pracetak

Contoh balok induk $L = 660$ cm dengan dimensi 40/70

Berat balok (w) = $6.6 \times 0.4 \times 0.58 \times 2400 = 3674.9$ kg

Ditumpuk pada umur beton 3 hari = $0.4 f_c' = 12$ MPa

Tumpuan memakai balok kayu ukuran 10 x 10 cm



Gambar 9.1 *Penumpukan Balok Pracetak*

Kontrol tegangan pada tengah bentang :

$$\frac{1/2 \times w_{\text{balok}}}{\text{Luas bid.kontak}} = \frac{1/2 \times 36749}{40000} = 0.46 \text{ MPa}$$

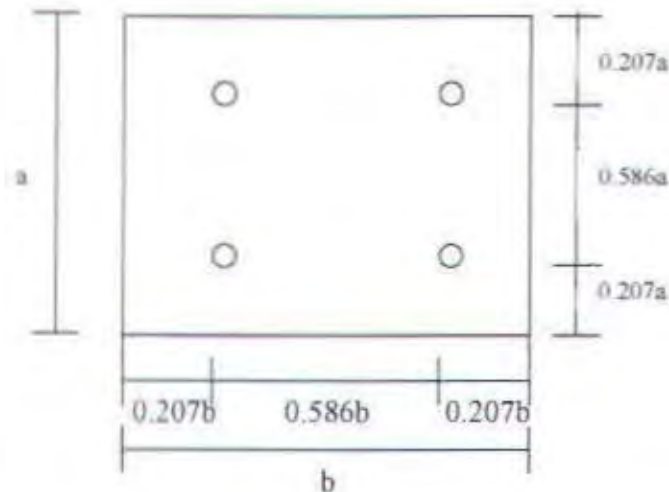
Ditumpuk sebanyak 2 tumpukan = $2 \times 0.46 = 0.92 \text{ MPa} < 12 \text{ MPa}$

9.4 Perhitungan Tulangan Angkat Pelat Pracetak

Tulangan angkat diperlukan saat pemasangan pelat pracetak ke titik – titik yang diinginkan.

Contoh perhitungan :

Pelat pracetak Type A ($3.3 \times 4.0 \text{ m}^2$) menggunakan empat titik pengangkatan (four point pick up)



Gambar 9.2 Pengaturan Jarak tulangan angkat menurut buku

" Precast and Prestressed Concrete "

Pelat dianggap sebagai balok sederhana, Pembebanan saat ereksi meliputi berat sendiri pelat pracetak dan berat pekerja sebanyak dua orang . Gaya horisontal yang bekerja ditranfer ke dua arah, yaitu arah i (sejajar sumbu pendek pelat) dan j (sejajar sumbu panjang pelat).

- Koefisien kejut ($k = 1.2$)
 - Beban hidup 2 pekerja = $2 \times 100 = 200 \text{ kg}$
- Beban – beban :
- $$DL = 0.07 \times 3.3 \times 4 \times 2400 = 2534.3 \text{ kg}$$
- $$LL = 200 \text{ kg}$$
- $$Qu = k (1.2DL) + k (1.6LL)$$
- $$= 1.2 \times (1.2 \times 2534.3) + 1.2 \times (1.6 \times 200)$$
- $$= 3969.5 \text{ kgm}$$

ada 4 titik angkat

$$Tu = \frac{3969.5}{4} = 924.1 \text{ kg/tulangan angkat}$$

$$\sigma = \frac{fy}{1.5} \dots\dots \text{PPBBI ps. 2.2.2}$$

$$\sigma = \frac{3200}{1.5} = 2133.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4.Tu}{\pi.\sigma}} = \sqrt{\frac{4 \times 924.1}{\pi \times 2133.3}} = 0.74 \approx 7.4 \text{ mm}$$

diambil 10 mm untuk tulangan angkat

$$\alpha_i = \arctg \left[\frac{(0.97^2 + 1.172^2)}{0.97} \right] = 67.26^\circ$$

$$\alpha_j = \arctg \left[\frac{(0.97^2 + 1.172^2)}{1.172} \right] = 63.14^\circ$$

gaya horisontal

$$Tu_i = 924.1 \times \cos 67.26^\circ = 357.2 \text{ kg}$$

$$Tu_j = 924.1 \times \cos 63.14^\circ = 417.5 \text{ kg} \dots\dots\dots \text{menentukan}$$

Diperoleh diameter tulangan arah i dan j

$$D = \sqrt{\frac{4.Tu}{\pi.\sigma}} = \sqrt{\frac{4 \times 417.5}{\pi \times 2133.3}} = 0.5 \approx 5 \text{ mm}$$

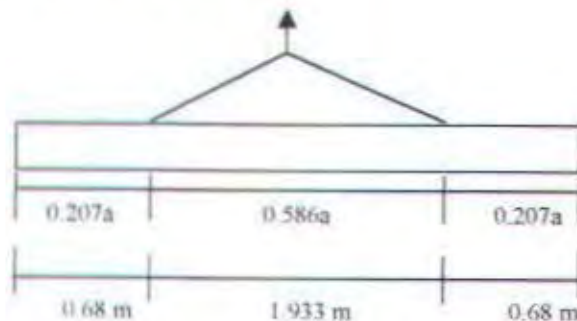
diambil 8 mm untuk tulangan angkat

9.4.1 Kontrol Tegangan Angkat

$$fr' = 0.7 \times \sqrt{30} = 3.834 \text{ MPa}$$

Kontrol tegangan pelat saat tripping (pengangkatan awal)

a. Lentur arah memanjang pelat pracetak



Gambar 9.3 Pengangkatan pelat arah melintang

Pelat dengan 2 titik angkat :

$$\theta = 45^\circ$$

$$w = 2400 \text{ kg/m}^2$$

$$a = 330/2 = 165 \text{ cm}$$

$$b = 400 \text{ cm}$$

$$t = 7 \text{ cm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 165 \times 7^2 = 1347.5 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0.0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2 \\ &= 0.0027 \times (0.07 \times 2400) \times 3.3 \times 4^2 \\ &= 18.95 \text{ kgm} = 189500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

momen tambahan akibat sudut angkat :

$$\begin{aligned} P &= \frac{1.2 \times (2400 \times 0.07 \times 3.3 \times 4) + (1.6 \times 200)}{2 \times 2} \\ &= 1210 \text{ kg} \end{aligned}$$

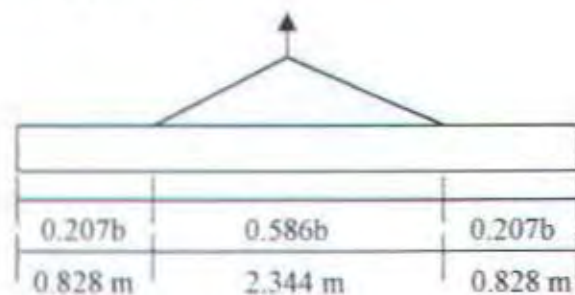
$$Y_c = 0.5 \times 0.07 = 0.035 \text{ m}$$

$$M_p = \frac{1210 \times 0.035}{\text{tg}45} = 39.35 \text{ kgm}$$

$$M_t = M_p + M_y = 39.35 + 18.95 = 58.3 \text{ kgm} = 583000 \text{ Nmm}$$

$$f_t = f_b = \frac{583000}{154750} = 3.57 \text{ MPa} < f_r = 3.83 \text{ MPa} \dots\dots \text{OK}$$

b. Lentur arah melintang pelat pracetak



Gambar 9.4 Pengangkatan pelat arah memanjang

Mx ditahan penampang selebar $\frac{x}{2} = \frac{400}{2} = 100$ cm atau $15t = 105$ cm

Diambil 100 cm

$$Z = \frac{1}{6} \times 1050 \times 70^2 = 857500 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0.0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2 \\ &= 0.0027 \times (0.07 \times 2400) \times 3.3^2 \times 4 \\ &= 17.25 \text{ kgm} = 172500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

momen tambahan akibat sudut angkat :

$$\begin{aligned} P &= \frac{1.2 \times (2400 \times 0.07 \times 3.3 \times 4) + (1.6 \times 200)}{2 \times 2} \\ &= 1210 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Y_c = 0.5 \times 0.07 = 0.035 \text{ m}$$

$$M_p = \frac{1210 \times 0.035}{\text{tg} 55} = 27.65 \text{ kgm}$$

$$M_t = M_p + M_y = 27.65 + 17.65 = 45.3 \text{ kgm} = 453000 \text{ Nmm}$$

$$f_t = f_b = \frac{453000}{857500} = 0.53 \text{ MPa} < f_r = 3.83 \text{ MPa} \dots\dots \text{OK}$$

9.5 Pengangkatan Balok Anak

Ukuran balok anak $30/40 \text{ cm}^2$ (bentang $L = 400 \text{ cm}$)

Beban yang ada pada balok anak saat pengangkatan :

1. Beban Mati (DL)

- Berat sendiri: $0.3 \times 0.28 \times 2400 = 194.4 \text{ kg/m}$
 - Berat tulangan (1%) $\quad \quad \quad = 1.944 \text{ kg/m}$
-
- 196.44 kg/m

2. Beban Hidup (LL)

- Berat Pekerja $\quad \quad \quad = 100 \text{ kg/m}$

$$Z = 1/6 \times 300 \times 280^2 = 3645000 \text{ mm}^2$$

Tegangan lentur tarik beton :

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0.7 \sqrt{30} = 3.834 \text{ Mpa}$$

Momen Lapangan

$$+M = \frac{w.L^2}{8} \left[1 - 4x + \frac{4.Y_c}{L.tg\theta} \right]$$

Momen Tumpuan

$$-M = \frac{w.(x.L)^2}{8}$$

dimana :

$$x = \frac{1 + \frac{4.Y_c}{L.tg\theta}}{2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4.Y_c}{L.tg\theta} \right)} \right]}$$

$$Y_t = Y_b = h/2 = \frac{40 - 12}{2} = 14 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 19 \text{ cm}$$

$$L = 4,00 \text{ m}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$x = \frac{1 + \frac{4 \times 19}{L.tg 45}}{2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{14}{14} \left(1 + \frac{4 \times 19}{400 \times tg 45} \right)} \right]} = 0.24$$

$$x.L = 0.24 \times 400 = 96.3 \text{ cm}$$

momen yang terjadi :

o Momen dilapangan

- Akibat beban mati

$$\begin{aligned} +M &= \frac{w.L^2}{8} \left[1 - 4x + \frac{4.Y_c}{L.tg\theta} \right] \\ &= \frac{196.4 \times 4^2}{8} \left[1 - 4 \times 0.24 + \frac{4 \times 0.19}{4 \times tg 45} \right] = 323.04 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

- Akibat beban hidup

$$+Ml = 1/4 \times P \times L$$

$$= 1/4 \times 100 \times 4$$

$$= 100 \text{ kgm}$$

$$\text{Momen total : } 323.04 + 100 = 423.04 \text{ kgm} = 4230400 \text{ Nmm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$F_t = f_b = + M_t / Z$$

$$= \frac{4230400}{3645000}$$

$$= 1.16 \text{ Mpa} < 3.834 \text{ Mpa}$$

o Momen Tumpuan

- Akibat beban mati

$$-M = \frac{196.44 \times (0.24 \times 4)^2}{2} = 90.52 \text{ kgm}$$

- Akibat beban hidup

$$-M = 100 \times (0.24 \times 4) = 96 \text{ kgm}$$

$$\text{Momen total : } 90.52 + 96 = 186.52 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$F_t = f_b = + M_t / Z$$

$$= \frac{1865200}{3645000}$$

$$= 0.51 \text{ Mpa} < 3.834 \text{ Mpa}$$

Tulangan Angkat : Diperhitungkan terhadap koefisien kejut :

$$V_u = 1/2 \times [(1.2 \times 1.2 \times 196.44) + (1.2 \times 1.4 \times 100)] = 237.4 \text{ kg}$$

Tegangan tarik ijin baja U35 menurut PBBI pasal 2.2.2 :

$$\sigma_{tarik \text{ ijin}} = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3200}{1.5} = 2133.3 \text{ kg/cm}^2$$

didapatkan tulangan angkat i

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot T_u}{\pi \cdot \sigma}} = \sqrt{\frac{4 \times 237.4}{\pi \times 2133.3}} = 0.36 \approx 3.6 \text{ cm}$$

Dipasang tulangan angkat $\phi 10 \text{ mm}$



9.6 Pengangkatan Balok Induk

Ukuran balok anak $40/70 \text{ cm}^2$ (bentang $L = 670 \text{ cm}$)

Beban yang ada pada balok anak saat pengangkatan :

1. Beban Mati (DL)

- Berat sendiri: $0.4 \times 0.58 \times 2400 = 547.2 \text{ kg/m}$
- Berat tulangan (1%) $= 5.472 \text{ kg/m}$
 $\underline{\hspace{1.5cm}} 552.67 \text{ kg/m}$

2. Beban Hidup (LL)

- Berat Pekerja $= 100 \text{ kg/m}$

$$Z = 1/6 \times 400 \times 580^2 = 21660000 \text{ mm}^2$$

Tegangan lentur tarik beton :

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0.7 \sqrt{30} = 3.834 \text{ Mpa}$$

Momen Lapangan

$$+M = \frac{w.L^2}{8} \left[1 - 4x + \frac{4.Y_c}{L.tg\theta} \right]$$

Momen Tumpuan

$$-M = \frac{w.(x.L)^2}{8}$$

dimana :

$$x = \frac{1 + \frac{4.Y_c}{L.tg\theta}}{2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4.Y_c}{L.tg\theta} \right)} \right]}$$

$$Y_t = Y_b = h/2 = \frac{70-12}{2} = 29 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 34 \text{ cm}$$

$$L = 660 \text{ m}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$x = \frac{1 + \frac{4 \times 34}{660 \cdot \tan 45}}{2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{29 \left(1 + \frac{4 \times 34}{660 \times \tan 45} \right)}{29}} \right]} = 0.24$$

$$x \cdot L = 0.24 \times 660 = 158.4 \text{ cm}$$

momen yang terjadi :

o Momen dilapangan

- Akibat beban mati

$$\begin{aligned} +M &= \frac{wL^2}{8} \left[1 - 4x + \frac{4Yc}{L \tan \theta} \right] \\ &= \frac{552.7 \times 6.6^2}{8} \left[1 - 4 \times 0.24 + \frac{4 \times 0.34}{6.6 \times \tan 45} \right] = 731.39 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

- Akibat beban hidup

$$+M_I = 1/4 \times P \times L$$

$$= 1/4 \times 100 \times 6.6$$

$$= 165 \text{ kgm}$$

$$\text{Momen total : } 731.39 + 165 = 896.39 \text{ kgm} = 8963900 \text{ Nmm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$F_t = f_b = +M/Z$$

$$= \frac{8963900}{21660000}$$

$$= 0.413 \text{ Mpa} < 3.834 \text{ Mpa}$$

o Momen Tumpuan

- Akibat beban mati

$$-M = \frac{731.39 \times (0.24 \times 6.6)^2}{2} = 917.6 \text{ kgm}$$

- Akibat beban hidup

$$-M = 165 \times (0.24 \times 6.6) = 261.36 \text{ kgm}$$

$$\text{Momen total : } 917.6 + 261.36 = 1178.9 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$F_t = f_b = + M_t / Z$$

$$= \frac{11789000}{21660000}$$

$$= 0.55 \text{ Mpa} < 3.834 \text{ Mpa}$$

Tulangan Angkat :Diperhitungkan terhadap koefisien kejut :

$$V_u = 1/2 \times [(1.2 \times 1.2 \times 552.67) + (1.2 \times 1.4 \times 100)] = 481.92 \text{ kg}$$

Tegangan tarik ijin baja U35 menurut PBI pasal 2.2.2 :

$$P_{tarik \text{ ijin}} = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3200}{1.5} = 2133.3 \text{ kg/cm}^2$$

didapatkan tulangan angkat i

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot T_u}{\pi \cdot \sigma'}} = \sqrt{\frac{4 \times 481.92}{\pi \times 2133.3}} = 0.54 \approx 5.4 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan angkat $\phi 10 \text{ mm}$

9.7 Penempatan Crane

Dalam perencanaan ini penulis memakai peralatan Crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan.

Data – data crane yang digunakan :

- Jenis Crane = UNIMAC UG 55.25
- Jarak jangkauan minimum = m dengan beban maksimum ton
- Jarak jangkauan maksimum = m dengan beban maksimum ton

Elemen struktur pracetak (data elemen pracetak terbesar)

- Pelat pracetak $w = 3.3 \times 4 \times 0.07 \times 2400 = 2217.6 \text{ kg} = 2.217 \text{ ton}$
- Balok induk pracetak, $w = 0.58 \times 0.4 \times 6.6 \times 2400 = 3611.52 \text{ kg} = 3611.52 \text{ ton}$
- Balok anak pracetak, $w = 0.3 \times 0.28 \times 4 \times 2400 = 777.6 \text{ kg} = 7.776 \text{ ton}$

$$\text{Luas Gedung I} = 18.00 \times 30 = 540 \text{ m}^2 \text{ (lantai 1 – 3)}$$

$$\text{II} = 18.00 \times 23.4 = 421.2 \text{ m}^2 \text{ (lantai 4 – 9)}$$

9.8 Proses Pemasangan Elemen Pracetak

Secara garis besar tahapan pelaksanaan proses pemasangan dan perakitan beton pracetak dapat dijelaskan dalam bagian skema dibawah berikut ini :

Tahapan pemasangan elemen beton pracetak



Keberhasilan pelaksanaan metode pracetak tergantung pada organisasi pelaksanaan, organisasi yang baik, technical skill personil yang terlibat, kerja sama yang baik dan kontrol yang baik dalam organisasi.

9.8.1 Pekerjaan tiang pancang

Spesifikasi tiang pancang yang digunakan dalam proyek ini adalah type dengan diameter cm, produksi PT. Wijaya Karya

1. Crane
2. Mesin pemancangan
3. Theodolit

9.8.2 Pekerjaan Poer

Langkah – langkah pekerjaan Poer adalah sebagai berikut :

1. Penggalian poer
2. Pembuatan lantai kerja
3. Pemasangan batako sebagai bekisting poer
4. Pemasangan tulangan poer
5. Pengecoran

9.8.3 Pekerjaan Sloof

Langkah – langkah pekerjaan sloof adalah sebagai berikut

1. Penggalian lubang untuk sloof
2. Pembuatan lantai kerja dan pemasangan batako untuk bekisting
3. Pemasangan tulangan Pengecoran.

9.8.4 Pekerjaan Kolom

Langkah – langkah pekerjaan Poer adalah sebagai berikut :

1. Pekerjaan dilakukan setelah pengecoran poer dan sloof
2. Penulangan kolom
3. Pekerjaan bekisting kolom dipasang setelah tulangan geser dipasang, distud dan selanjutnya setelah semua tulangan terpasangan dilakukan pengecoran.

9.8.5 Pemasangan Elemen Balok

Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dulu baru kemudian dilanjutkan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan crane dan scaffolding untuk membantu menunjang balok pracetak. Kemudian dapat dilanjutkan pemasangan tulangan utama pada balok yaitu tulangan pada tumpuan, setelah semua terpasang barulah dilakukan pengecoran.

9.8.6 Pekerjaan Tangga

Langkah – langkah pekerjaan Poer adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan bekisting tangga
2. Pemasangan tulangan
3. Pengecoran

9.8.7 Pemasangan Elemen Pelat

Langkah – langkah pekerjaan Poer adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan elemen pelat dilakukan setelah pemasangan balok pracetak selesai dilakukan.
2. Penulangan pelat meliputi tulangan lentur dan tulangan stud pelat.
3. Pengecoran overtopping setebal 5 cm
4. Alat yang dipergunakan adalah crane untuk mengangkat elemen pelat pracetak dan dibantu dengan scaffolding.

9.9 Transportasi Elemen Beton Pracetak

9.9.1 Sistem Transportasi

Sistem transportasi disini meliputi :

1. Pemindahan beton pracetak ke areal proyek.
2. Pemindahan dari pabrik ke areal penampungan di proyek.
3. Pemindahan dari penampungan sementara di posisi akhir di proyek.

Pemilihan jenis, ukuran dan kapasitas alat angkut dan angkat seperti truk, mobile crane dan tower crane akan sangat mempengaruhi ukuran komponen beton pracetaknya. Untuk tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrik ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk. Truk yang biasanya digunakan

untuk pengangkutan berukuran lebar 2.4 m x 16 m atau 2.4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga mencapai 30 m dapat digunakan truk dimana kapasitasnya mencapai 80 ton. Kendala dalam pemilihan truk adalah kapasitas jalan yang akan dilalui truk, baik dari segi muatan maupun dari segi lebar jalan serta fasilitas untuk memutar/menikung.

Diareal pabrik dan lokasi proyek juga diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak yang biasa menggunakan mobile – crane, rail – crane, gantry atau tower – crane. Tersedianya alat angkat ini diharapkan akan mempengaruhi ukuran yang diinginkan.

9.9.2 Jadwal Pengangkutan Elemen Beton Pracetak.

Dalam jadwal pengangkutan/pemindahan perlu dipertimbangkan beberapa hal – hal sebagai berikut :

1. Ijin penggunaan jalan utama untuk mobil jenis truk yang diperbolehkan untuk dilewati ke areal proyek.
2. Tersedianya peralatan angkat mobile – crane atau tower – crane yang siap pakai untuk menaikkan/menurunkan elemen pracetak dari dan ke alat angkut baik di areal proyek maupun di lokasi proyek.

BAB X
PENUTUP

BAB X

PENUTUP

10.1 Kesimpulan

Dalam Tugas Akhir ini didapatkan Modifikasi Struktur Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya dengan metoda Pracetak

Beberapa kesimpulan yang didapatkan :

1. Sistem pracetak dapat dapat dimodelkan dengan berbagai sistem permodelan, diantaranya dengan model " Building Frame System " yang mengacu pada peraturan UBC 1997.
2. Dengan bantuan Program ETABS dapat pula diketahui bahwa dengan pemodelan " Building Frame System " dapat mengurangi gaya – gaya yang terjadi pada frame serta dihasilkan sifat pemodelan yang sesuai dengan ketentuan UBC 1997.
3. Sambungan antar elemen bangunan seperti sambungan balok – kolom, balok anak – balok induk diusahakan sedemikian rupa sehingga memenuhi kriteria jenis sambungan seperti yang diasumsikan dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan.
4. Pelaksanaan pekerjaan fabrikasi elemen beton pracetak di tempat lain dapat mempercepat pelaksanaan pembangunan, tetapi hal ini membutuhkan keakuratan dalam ukuran dan penyambungan, sehingga asumsi terhadap struktur desain tidak jauh menyimpang dengan kenyataan lapangan.
5. Metode pelaksanaan pembangunan banyak dipengaruhi keadaan lapangan, jenis struktur yang direncanakan maupun waktu yang tersedia.
6. Pelaksanaan metode pracetak menjadi suatu hal yang sangat mungkin untuk diterapkan di Indonesia melihat dari metode pelaksanaannya, namun disini dibutuhkan keahlian dan ketelitian yang tinggi.

10.2 Saran

Melalui Tugas Akhir ini kiranya dapat saya sampaikan beberapa saran – saran sebagai berikut :

- 1 Riset dan pengembangan Teknologi Pracetak perlu dikembangkan untuk kemajuan Sistem Pracetak di Indonesia
- 2 Perlu dibuatnya sebuah Standar Perencanaan Beton Pracetak di Indonesia, baik dari segi perencanaan elemen beton pracetak, perencanaan biaya maupun perencanaan pelaksanaan. Sehingga nantinya teknologi precetak akan lebih banyak dipahami dan diterapkan.
- 3 Pihak – pihak yang terkait diharapkan dapat lebih banyak memberikan pelatihan bagi seluruh komponen jasa konstruksi di Indonesia dan juga lebih mensosialisasikan sistem pracetak secara luas kepada masyarakat.
- 4 Industri Konstruksi Beton Pracetak hendaknya dikembangkan menjadi industri yang membuat elemen – elemen pracetak berdasarkan tuntutan konsumen, seperti segi arsitektur, bentang dan modul. Sehingga beton pracetak menjadi sangat fleksibel dan kompetitif

Demikianlah perencanaan Tower Gedung Perkantoran PT. Halim Sakti Surabaya ini semoga menjadi bermanfaat bagi pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum 1991 SKSNI T-15-1991-03 " **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung** ", Penerbit Yayasan LPMB, Bandung.
2. Departemen Pekerjaan Umum 1983 " **Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok bertulang untuk Gedung** ", Penerbit Direktorat Jendral Cipta Karya, Bandung.
3. Departemen Pekerjaan Umum 1987 " **Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung dan Rumah** ", Penerbit Yayasan Badan Penerbit PU.
4. Departemen Pekerjaan Umum 1987 " **Peraturan Beton Bertulang Indonesia N.I.-2** ", Penerbit Direktorat Cipta Karya.
5. Departemen Pekerjaan Umum 1983 " **Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung** ", Penerbit Direktorat Jendral Cipta Karya, Bandung.
6. Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, 1990 " **Desain Beton Bertulang 1 dan 2** ", Penerbit Erlangga, Jakarta.
7. W.C. Vis, Gideon Kusuma, 1994 " **Dasar – Dasar Perencanaan Beton Bertulang 1 dan 2** ", Penerbit Erlangga, Jakarta.
8. PCI 1988 " **Design And Typical Detail of Connection for Precast And Prestressed Concrete** ", PCI Committee, Chicago.
9. PCI 1988 " **PCI Design Handbook Precast And Prestressed Concrete** ", PCI Committee, Chicago.
10. J.E Bowles 1982 " **Foundation Analysis And Design** ", International Student Edition.
11. Herman Wahyudi 1993 " **Daya Dukung Tiang Pondasi Berdasarkan Hasil dari beberapa Percobaan Penetrasi, Pressiometer dan Aplikasinya** ", Teknik Sipil ITS, Surabaya.

12. Jurusan Teknik Sipil ITS 1997 " **Tabel, Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Beton berdasarkan SNI 1993** ", Kursus singkat Perencanaan Konstruksi Beton Berdasarkan SNI 1993.

LAMPIRAN

TABEL PENULANGAN PELAT SEBELUM KOMPOSIT

$q_u = 521.6 \text{ kg/m}^2$

$= 30 \text{ Mpa}$

320 Mpa

$\rho_{\min} = 0.0044$

Drencana = 10 mm

| Type Pelat | dimensi | lx m | ly m | Cx | Cy | Mix kgm | Rn Rho perlu | | | | As perlu | | As pasang | | | |
|------------|---------|---------|---------|----|----|------------|--------------|--------|--------|-----------|-------------------|--------------------|--------------|-----------|--------------|---|
| | | | | | | | arah x | arah y | arah x | arah y | lap. arahx mm2 | lap. arah y mm2 | arah x mm | As mm2 | arah y mm | |
| A | 3.3x4.0 | 3.3 | 4.0 | 59 | 45 | 335.13 | 2.06872 | 2.6083 | 0.0068 | 0.0086167 | 303.7827341 | 301.5858662 | 210 | 392.5 | 210 | 3 |
| B | 2.8x4.0 | 2.8 | 4.0 | 73 | 44 | 298.52 | 1.84273 | 1.836 | 0.006 | 0.0059605 | 269.2423033 | 208.6188407 | 210 | 392.5 | 210 | 3 |
| C | 3.0x3.3 | 3.0 | 3.3 | 52 | 45 | 244.11 | 1.50684 | 2.1556 | 0.0049 | 0.0070479 | 218.5611163 | 246.677341 | 210 | 392.5 | 210 | 3 |
| D | 2.8x3.0 | 2.8 | 3.0 | 52 | 45 | 212.65 | 1.31263 | 1.8778 | 0.0042 | 0.0061016 | 189.6012835 | 213.5565782 | 210 | 392.5 | 210 | 3 |
| E | 3.0x3.3 | 3.0 | 3.3 | 52 | 45 | 244.11 | 1.50684 | 2.1556 | 0.0049 | 0.0070479 | 218.5611163 | 246.677341 | 210 | 392.5 | 210 | 3 |
| F | 3.3x4.0 | 3.3 | 4.0 | 59 | 45 | 335.13 | 2.06872 | 2.6083 | 0.0068 | 0.0086167 | 303.7827341 | 301.5858662 | 210 | 392.5 | 210 | 3 |

TABEL PENULANGAN PELAT AKIBAT PENGANGKATAN

$q_u = 168 \text{ kg/m}^2$
 $f_c' = 30 \text{ Mpa}$
 $f_y = 320 \text{ Mpa}$
 $\rho_{\min} = 0.0044$
 $D_{rencana} = 10 \text{ mm}$

| Type Pelat | dimensi | a m | b m | Rn | | Rho perlu | | As perlu | | As pasang | | | |
|------------|---------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| | | | | arah x | arah y | arah x | arah y | lap. arah x mm ² | lap. arah y mm ² | arah x mm | As mm ² | arah y mm | As mm ² |
| A | 3.3x4.0 | 3.3 | 4.0 | 0.24 | 0.04 | 0.0008 | 0.0001288 | 198 | 154 | 175 | 392.5 | 210 | 392.5 |
| B | 2.8x4.0 | 2.8 | 4.0 | 0.18 | 0.03 | 0.0006 | 0.0001093 | 198 | 154 | 175 | 392.5 | 210 | 392.5 |
| C | 3.0x3.3 | 3.0 | 3.3 | 0.17 | 0.03 | 0.0005 | 7.968E-05 | 198 | 154 | 175 | 392.5 | 210 | 392.5 |
| D | 2.8x3.0 | 2.8 | 3.0 | 0.13 | 0.02 | 0.0004 | 6.146E-05 | 198 | 154 | 175 | 392.5 | 210 | 392.5 |
| E | 3.0x3.3 | 3.0 | 3.3 | 0.17 | 0.03 | 0.0005 | 7.968E-05 | 198 | 154 | 175 | 392.5 | 210 | 392.5 |
| F | 3.3x4.0 | 3.3 | 4.0 | 0.24 | 0.04 | 0.0008 | 0.0001288 | 198 | 154 | 175 | 392.5 | 210 | 392.5 |

TABEL PENULANGAN PELAT SESUDAH KOMPOSIT

 $q_u = 887.2 \text{ kg/m}^2$
 $f_c = 30 \text{ Mpa}$
 $f_t = 320 \text{ Mpa}$
 $\rho_{min} = 0.0044$
 $d_{rencana} = 10 \text{ mm}$

| Type Pelat | dimensi | lx m | ly m | Cx | Cy | Mlx = -Mtx kgm | Rho perlu | | | | As perlu | | As pasang | | | |
|------------|---------|---------|---------|----|----|----------------------|-----------|--------|--------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|---------|
| | | | | | | | arah x | arah y | arah x | arah y | lap. arah x mm ² | lap. arah y mm ² | arah x mm | As mm ² | arah y mm | f mm |
| A | 3.3x4.0 | 3.3 | 4.0 | 46 | 38 | 444.43 | 0.62 | 0.64 | 0.0019 | 0.0020103 | 418 | 374 | 175 | 549.5 | 210 | 39 |
| B | 2.8x4.0 | 2.8 | 4.0 | 53 | 38 | 368.65 | 0.51 | 0.46 | 0.0016 | 0.0014421 | 418 | 374 | 175 | 549.5 | 210 | 39 |
| C | 3.0x3.3 | 3.0 | 3.3 | 42 | 37 | 292.14 | 0.40 | 0.51 | 0.0013 | 0.0016136 | 418 | 374 | 175 | 549.5 | 210 | 39 |
| D | 2.8x3.0 | 2.8 | 3.0 | 42 | 37 | 292.14 | 0.40 | 0.45 | 0.0013 | 0.0014038 | 418 | 374 | 175 | 549.5 | 210 | 39 |
| E | 3.0x3.3 | 3.0 | 3.3 | 42 | 37 | 292.14 | 0.40 | 0.51 | 0.0013 | 0.0016136 | 418 | 374 | 175 | 549.5 | 210 | 39 |
| F | 3.3x4.0 | 3.3 | 4.0 | 46 | 38 | 319.96 | 0.44 | 0.64 | 0.0014 | 0.0020103 | 418 | 374 | 175 | 549.5 | 210 | 39 |

Perhitungan Lentur Balok Induk Sesudah Komposit

a
 a
 0.0044
 0.033
 2.55
 mm
 g = 12 mm
 10 mm

Balok Induk (40/70)

| nomor | dimensi | | | M | Rn | rho perlu | rho | | As perlu | | Tulangan | |
|-------|---------|-----|-------|-----------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|---|
| | b | h | d | | | | rho atas | rho bawah | Tul. Atas | Tul. Bawah | Tul. Atas | T |
| | m | m | m | Nmm | | | | | | | | |
| B-14 | 400 | 700 | 638.5 | 137458080 | 1.580482717 | 0.00765356 | 0.0077 | 0.00382678 | 1954.719161 | 977.3595806 | 8D18 | |
| B-15 | 400 | 700 | 638.5 | 100943340 | 1.160638969 | 0.005570296 | 0.0056 | 0.002785148 | 1422.653721 | 711.3268607 | 8D19 | |
| B-15 | 400 | 700 | 638.5 | 146807690 | 1.687983833 | 0.008193249 | 0.0082 | 0.004096624 | 2092.555678 | 1046.277839 | 8D19 | |
| B-15 | 400 | 700 | 638.5 | 145741580 | 1.67572578 | 0.008131577 | 0.0081 | 0.004065789 | 2076.804831 | 1038.402415 | 8D19 | |
| B-15 | 400 | 700 | 638.5 | 144377230 | 1.660038586 | 0.008052703 | 0.0081 | 0.004026352 | 2056.860458 | 1028.330229 | 8D19 | |
| B-15 | 400 | 700 | 638.5 | 138187960 | 1.588874822 | 0.007695597 | 0.0077 | 0.003847798 | 1965.45547 | 982.7277352 | 7D19 | |
| B-15 | 400 | 700 | 638.5 | 128187960 | 1.473895571 | 0.007121018 | 0.0071 | 0.003560509 | 1818.707918 | 909.3539589 | 7D19 | |
| B-15 | 400 | 700 | 638.5 | 133500000 | 1.534973009 | 0.00742587 | 0.0074 | 0.003712935 | 1896.567146 | 948.2635732 | 6D19 | |

Balok Induk (30/50)

| nomor | dimensi | | | M | Rn | rho perlu | rho | | As perlu | | Tulangan Pakai | |
|-------|---------|-----|-------|-----------|-------------|-------------|----------|-----------|------------|------------|----------------|---|
| | b | h | d | | | | rho atas | rho bawah | Tul. Atas | Tul. Bawah | Tul. Atas | T |
| | m | m | m | Nmm | | | | | | | | |
| B-14 | 300 | 500 | 438.5 | 350480000 | 7.594738117 | 0.029017032 | 0.008891 | 0.0044455 | 1169.61105 | 584.805525 | 9D18 | |
| B-15 | 300 | 500 | 438.5 | 335210000 | 7.26384434 | 0.027416055 | 0.008481 | 0.0042405 | 1115.67555 | 557.837775 | 8D19 | |
| B-15 | 300 | 500 | 438.5 | 325210000 | 7.047149004 | 0.026393666 | 0.008213 | 0.0041065 | 1080.42015 | 540.210075 | 8D19 | |
| B-15 | 300 | 500 | 438.5 | 308860000 | 6.692852131 | 0.024763048 | 0.007778 | 0.003889 | 1023.1959 | 511.59795 | 8D19 | |
| B-15 | 300 | 500 | 438.5 | 279890000 | 6.065085744 | 0.021986868 | 0.007013 | 0.0035065 | 922.58015 | 461.280075 | 7D19 | |
| B-15 | 300 | 500 | 438.5 | 234890000 | 5.089156735 | 0.017921526 | 0.005841 | 0.0029205 | 768.38355 | 384.191775 | 7D19 | |
| B-15 | 300 | 500 | 438.5 | 176570000 | 3.826189538 | 0.013020697 | 0.004400 | 0.0022 | 578.82 | 289.41 | 6D19 | |
| B-15 | 300 | 500 | 438.5 | 103870000 | 2.250114449 | 0.007375106 | 0.004400 | 0.0022 | 578.82 | 289.41 | 6D19 | |

Perhitungan Lentur Balok Induk Sesudah Komposit

$f_c' = 30 \text{ Mpa}$
 $f_y = 320 \text{ Mpa}$
 $\rho_{\min} = 0.0044$
 $\rho_{\max} = 0.033$
 $m = 12.55$
 $D. \text{ Tul.} = 19 \text{ mm}$
 $D. \text{ Sengkang} = 12 \text{ mm}$
 $\text{Decking} = 40 \text{ mm}$
 $T. \text{ Pelat lantai} = 120 \text{ mm}$

Lapangan Balok Induk (40/70)

| B19 | dimensi | | | M | Rn | rho perlu | rho | | As perlu | Tulangan Pakai | | | |
|------|---------|-----|-------|-----------|------------|------------|----------|-----------|-----------------|-----------------|------------|-----------|------------|
| | b | h | d | | | | rho atas | rho bawah | | Tul. Atas | Tul. Bawah | Tul. Atas | Tul. Bawah |
| | m | m | m | Nmm | | | | | mm ² | mm ² | | | |
| atap | 400 | 700 | 638.5 | 279234270 | 2.14040983 | 0.01399179 | 0.008891 | 0.0044455 | 2270.7814 | 1135.3807 | 9D19 | 5D19 | |
| 8 | 400 | 700 | 638.5 | 98047030 | 0.75155828 | 0.00478858 | 0.008481 | 0.0042405 | 2166.0474 | 1083.0237 | 8D19 | 5D19 | |
| 7 | 400 | 700 | 638.5 | 314493010 | 2.41067806 | 0.0158555 | 0.008213 | 0.0041065 | 2097.6002 | 1048.8001 | 8D19 | 4D19 | |
| 6 | 400 | 700 | 638.5 | 309050000 | 2.36895585 | 0.007778 | 0.007778 | 0.003889 | 1988.5012 | 993.2508 | 8D19 | 4D19 | |
| 5 | 400 | 700 | 638.5 | 294471854 | 2.25721023 | 0.01479427 | 0.007013 | 0.0035065 | 1791.1202 | 895.5601 | 7D19 | 4D19 | |
| 4 | 400 | 700 | 638.5 | 271489851 | 2.08089335 | 0.01358458 | 0.004400 | 0.0022 | 1123.76 | 561.88 | 4D19 | 2D19 | |
| 3 | 400 | 700 | 638.5 | 237635481 | 1.82154332 | 0.01182323 | 0.004400 | 0.0022 | 1123.76 | 561.88 | 4D19 | 2D19 | |
| 2 | 400 | 700 | 638.5 | 201027821 | 1.54093523 | 0.0099408 | 0.004400 | 0.0022 | 1123.76 | 561.88 | 4D19 | 2D19 | |

Lapangan Balok Induk (30/50)

| B17 | dimensi | | | M | Rn | rho perlu | rho | | As perlu | Tulangan Pakai | | | |
|------|---------|-----|-------|-----------|------------|------------|----------|-----------|-----------------|-----------------|------------|-----------|------------|
| | b | h | d | | | | rho atas | rho bawah | | Tul. Atas | Tul. Bawah | Tul. Atas | Tul. Bawah |
| | m | m | m | Nmm | | | | | mm ² | mm ² | | | |
| atap | 300 | 500 | 438.5 | 280180000 | 6.07136991 | 0.022014 | 0.008891 | 0.0044455 | 1169.81105 | 584.805525 | 9D18 | 5D19 | |
| 8 | 300 | 500 | 438.5 | 252590000 | 5.47350748 | 0.01948779 | 0.008481 | 0.0042405 | 1115.87555 | 557.837775 | 8D19 | 5D19 | |
| 7 | 300 | 500 | 438.5 | 241630000 | 5.23600939 | 0.01851322 | 0.008213 | 0.0041065 | 1080.42015 | 540.210075 | 8D19 | 4D19 | |
| 6 | 300 | 500 | 438.5 | 225430000 | 4.88486295 | 0.01710049 | 0.007778 | 0.003889 | 1023.1959 | 511.59795 | 8D19 | 4D19 | |
| 5 | 300 | 500 | 438.5 | 199290000 | 4.31852134 | 0.01488585 | 0.007013 | 0.0035065 | 922.58015 | 461.280075 | 7D19 | 4D19 | |
| 4 | 300 | 500 | 438.5 | 161760000 | 3.50526375 | 0.0044 | 0.004400 | 0.0022 | 578.82 | 289.41 | 4D19 | 2D19 | |
| 3 | 300 | 500 | 438.5 | 11338000 | 0.24568917 | 0.0044 | 0.004400 | 0.0022 | 578.82 | 289.41 | 4D19 | 2D19 | |
| 2 | 300 | 500 | 438.5 | 54080000 | 1.17145495 | 0.0044 | 0.004400 | 0.0022 | 578.82 | 289.41 | 4D19 | 2D19 | |

PENULANGAN LENTUR KOLOM

$i = 10 \text{ mm}$
 $h = 4000 \text{ mm}$
 $= \text{Tanpa Pengaku}$

| M1b Nmm | M2b Nmm | 34-12(M1b/M2b) | jenis kolom | Mn Nmm | Pn N | ky | kx | rho | Asp mm | |
|------------|------------|----------------|----------------|-----------|------------|---------|-------------|-------------|-----------|-----|
| 875.2 | 9056000 | 964089000 | 33.88728012 | pendek | 1205111250 | 764459 | 1.194466667 | 2.35373291 | 0.01 | 64 |
| 561.5 | 3663920 | 408411000 | 33.89234609 | pendek | 510513750 | 1485936 | 2.32177474 | 0.997097168 | 0.01 | 64 |
| 5514 | 5182200 | 112525000 | 33.44735481 | pendek | 140656250 | 2159190 | 3.373734375 | 0.274719238 | 0.02 | 128 |
| 6611 | 8137600 | 164348300 | 33.40582775 | pendek | 205435375 | 2827685 | 4.418257813 | 0.401240967 | 0.02 | 128 |
| 076.6 | 5045700 | 303422100 | 33.80044829 | pendek | 379277625 | 295128 | 0.461136979 | 0.740776611 | 0.02 | 128 |
| 9636 | 6891900 | 197225000 | 33.58066777 | pendek | 246531250 | 3032727 | 4.738635417 | 0.481506348 | 0.02 | 128 |
| 7636 | 11521200 | 34019400 | 29.93601298 | pendek | 42524250 | 3129393 | 4.889677083 | 0.083055176 | 0.02 | 128 |
| 8906 | 18673100 | 186460400 | 32.7982585 | pendek | 233075500 | 4148177 | 6.481526042 | 0.455225586 | 0.02 | 128 |

$$5 \times 4000 / 240 = 14,16$$

$$12.b.h^3 = 1,1433 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$12.h^4 = 3,413 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$5.E_c.I_g / (1+0,8) = 2,44 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$0,4.E_c.I_g / (1+0,8) = 1,9^5 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$\text{uk} = 0,85$$

PENULANGAN GESER TUMPUAN KOLOM

$a_n = 25 \text{ mm}$
 $s_{\text{sempang}} = 10 \text{ mm}$
 100 mm
 $10 - 40 - 10 - 1/2 \times 25 = 737,5 \text{ mm}$

| No | Nu | Vu | Vc | 0,6.Vc | 0,6.0,6.Vc | Vu<0,5.0,6.Vc | s | s maks | | | | s pasa |
|----|----------|----------|-------------|-------------|------------|------------------|-------|--------|-----------|------------|----------|--------|
| | N | N | N | N | N | pasang | | mm | s1 = 0,5h | s2 = 10 db | s3 = 200 | |
| | N | N | N | N | N | pasang | mm | mm | mm | mm | | |
| | 458675.2 | 492843.3 | 566165.2367 | 339699.142 | 169849.57 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |
| | 891561.5 | 249303.3 | 592186.4307 | 355311.8584 | 177655.93 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |
| | 1295514 | 332944.7 | 616468.3674 | 369881.0324 | 184940.52 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |
| | 1696611 | 305006.8 | 640576.6973 | 384347.2184 | 192173.61 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |
| | 177076.6 | 277748 | 549238.0856 | 329542.8514 | 164771.43 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |
| | 1819636 | 246164 | 647973.8433 | 388784.306 | 194382.15 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |
| | 1877836 | 186337.8 | 651460.2766 | 390876.166 | 195438.08 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |
| | 2488906 | 152651.2 | 688204.2791 | 412922.5674 | 206461.28 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 | |

PENULANGAN GESER LAPANGAN KOLOM

$a = 25 \text{ mm}$
 $s_{\text{maks}} = 10 \text{ mm}$
 $0 - 40 - 10 - 1/2 \times 25 = 737,5 \text{ mm}$
 0 Mpa
 0 Mpa

| | Nu | Vu | Vc | 0,6.Vc | 0,5.0,6.Vc | Vu<0,5.0,6.Vc | s | s maks | | | s pasang |
|--|----------|----------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------|-----------------|------------------|----------------|----------|
| | N | N | N | N | N | pasang | mm | s1 = 0,5h mm | s2 = 10 db mm | s3 = 200 mm | |
| | 458675.2 | 492843.3 | 566165.2367 | 339699.142 | 169849.571 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 891561.5 | 249303.3 | 592186.4307 | 355311.8584 | 177655.9292 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 1295514 | 332944.7 | 616468.3874 | 369881.0324 | 184940.5162 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 1896611 | 305006.8 | 640578.6973 | 384347.2184 | 192173.6092 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 177076.8 | 277748 | 549238.0656 | 329542.8514 | 164771.4257 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 1819636 | 246164 | 647973.8433 | 388784.306 | 194392.153 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 1877636 | 186337.8 | 651460.2766 | 390876.166 | 195438.083 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 2488906 | 152851.2 | 688204.2791 | 412922.5674 | 206461.2837 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |

PENULANGAN LENTUR KOLOM

a
>a
25 mm
= 10 mm
>m = 4000 mm
m = Tanpa Pengaku

| Vu N | M1b Nmm | M2b Nmm | 34-12(M1b/M2b) | Jenis kolom | Mn Nmm | Pn N | ky | kt | rho | Asperlu mm^2 | tul pasang |
|---------|------------|------------|----------------|----------------|-----------|---------|-------------|-------------|------|-----------------|---------------|
| 137855 | 31235400 | 222716000 | 32.31702796 | pendek | 278395000 | 229758 | 0.358997396 | 0.543740234 | 0.01 | 6400 | 15D25 |
| 270921 | 25718400 | 155787900 | 32.01912215 | pendek | 194734875 | 451535 | 0.705523438 | 0.380341553 | 0.01 | 6400 | 15D25 |
| 537567 | 39584300 | 197847800 | 31.59667651 | pendek | 247059750 | 895945 | 1.399914063 | 0.482538574 | 0.02 | 12800 | 26D25 |
| 718734 | 44187800 | 216621700 | 31.55328667 | pendek | 270777125 | 1197890 | 1.871703125 | 0.528861572 | 0.02 | 12800 | 26D25 |
| 898583 | 50180000 | 241239000 | 31.50388619 | pendek | 301548750 | 1497638 | 2.340059896 | 0.588962402 | 0.02 | 12800 | 26D25 |
| 108895 | 197279600 | 92035400 | 8.277775725 | pendek | 115044250 | 181492 | 0.283580729 | 0.224695801 | 0.02 | 12800 | 26D25 |
| 119303 | 13295000 | 19719600 | 25.9095722 | pendek | 24649500 | 198838 | 0.310684896 | 0.048143555 | 0.02 | 12800 | 26D25 |
| 137469 | 2767000 | 48343000 | 33.31315806 | pendek | 60428750 | 229115 | 0.357992188 | 0.118024902 | 0.02 | 12800 | 26D25 |

$$1,85 \times 4000 / 240 = 14,16$$

$$1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1,1433 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$1/12 \cdot h^4 = 3,413 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$(0,5 \cdot E_c \cdot I_g) / (1 + 0,8) = 2,44 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$(0,4 \cdot E_c \cdot I_g) / (1 + 0,8) = 1,9^5 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$\text{ekuk} = 0,85$$

PENULANGAN GESER TUMPUAN KOLOM

$a = 25 \text{ mm}$
 $\text{sengkang} = 10 \text{ mm}$
 100 mm
 $- 40 - 10 - 1/2 \times 25 = 737,5 \text{ mm}$

| Nu | Vu | Vc | 0,6.Vc | 0,6.0,6.Vc | Vu<0,5.0,6.Vc | s | s maks | | | s pasang |
|--------|---------|-------------|-------------|------------|------------------|-------|-----------|------------|----------|----------|
| | | | | | | | s1 = 0,6h | s2 = 10 db | s3 = 200 | |
| N | N | N | N | N | pasang | mm | mm | mm | mm | |
| 137855 | 20407 | 548880.4392 | 328128.2635 | 164064.13 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |
| 270921 | 13839.8 | 554879.1589 | 332927.4954 | 166463.75 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |
| 537587 | 21136.8 | 570907.4954 | 342544.4973 | 171272.25 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |
| 718734 | 21303.6 | 581797.8106 | 349078.5864 | 174539.28 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |
| 898583 | 10248 | 592608.4995 | 355565.0997 | 177782.55 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |
| 108895 | 7995.8 | 545139.8289 | 327083.7781 | 163541.89 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |
| 119303 | 24937 | 545765.2814 | 327459.1568 | 163729.58 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |
| 137469 | 18538.7 | 548857.2384 | 328114.3418 | 164057.17 | sengkang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10 - |

PENULANGAN GESER LAPANGAN KOLOM

= 25 mm
 ang = 10 mm
 0 mm
 - 40 - 10 - 1/2 x 25 = 737,5 mm

Mpa
 Mpa

| | Nu | Vu | Vc | 0,6.Vc | 0,5,0,6.Vc | Vu<0,5,0,6.Vc | s | s maks | | | s pasang |
|--|--------|---------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------|-----------------|------------------|----------------|----------|
| | N | N | N | N | N | pasang | mm | s1 = 0,6h mm | s2 = 10 db mm | s3 = 200 mm | |
| | 137855 | 20407 | 546880.4392 | 328128.2635 | 184064.1318 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 270921 | 13639.8 | 554879.1589 | 332927.4954 | 166463.7477 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 537587 | 21138.8 | 570907.4954 | 342544.4973 | 171272.2486 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 718734 | 21303.8 | 581797.6106 | 349078.5664 | 174539.2832 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 898583 | 10248 | 592608.4995 | 355565.0997 | 177782.5499 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 108895 | 7995.8 | 545139.6269 | 327083.7761 | 163541.8881 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 119303 | 24937 | 545765.2614 | 327459.1588 | 163729.5784 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |
| | 137469 | 18538.7 | 546857.2384 | 328114.3418 | 164057.1709 | senggang minimum | 188.4 | 325 | 250 | 200 | D10-1 |

TABEL PENULANGAN LENTUR SHEARWALL

pa
lpa
40 mm
12 mm

| Dimensi | | | | panjang daerah ujung mm | Mu max Nmm | As perlu mm ² | Tul. Pakai | | a mm | L mm | Mn Nmm | Mu/0.8 Nmm | ket. | Tul. Pasang daerah ujung | |
|---------|-----|-----|------|----------------------------|---------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------|------|--------------------------|------------|
| bal | b | b1 | Lw | | | | n | As ada mm ² | | | | | | dalam mm | luar mm |
| 100 | 500 | 500 | 5600 | 700 | 11994130 | 9.18868 | 2 | 226.08 | 9.48 | 5295.3 | 363089596 | 14992662.5 | OK | 3D12-200 | 3D12-300 |

| Dimensi | | | | panjang daerah ujung mm | Mu max Nmm | As perlu mm ² | Tul. Pakai | | a mm | L mm | Mn Nmm | Mu/0.8 Nmm | ket. | Tul. Pasang daerah ujung | |
|---------|-----|-----|------|----------------------------|---------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------|------|--------------------------|------------|
| bal | b | b1 | Lw | | | | n | As ada mm ² | | | | | | dalam mm | luar mm |
| 100 | 500 | 500 | 4000 | 700 | 36094960 | 42.5167 | 2 | 226.08 | 9.48 | 3695.3 | 267336636 | 47618700 | OK | 3D12-200 | 3D12-300 |

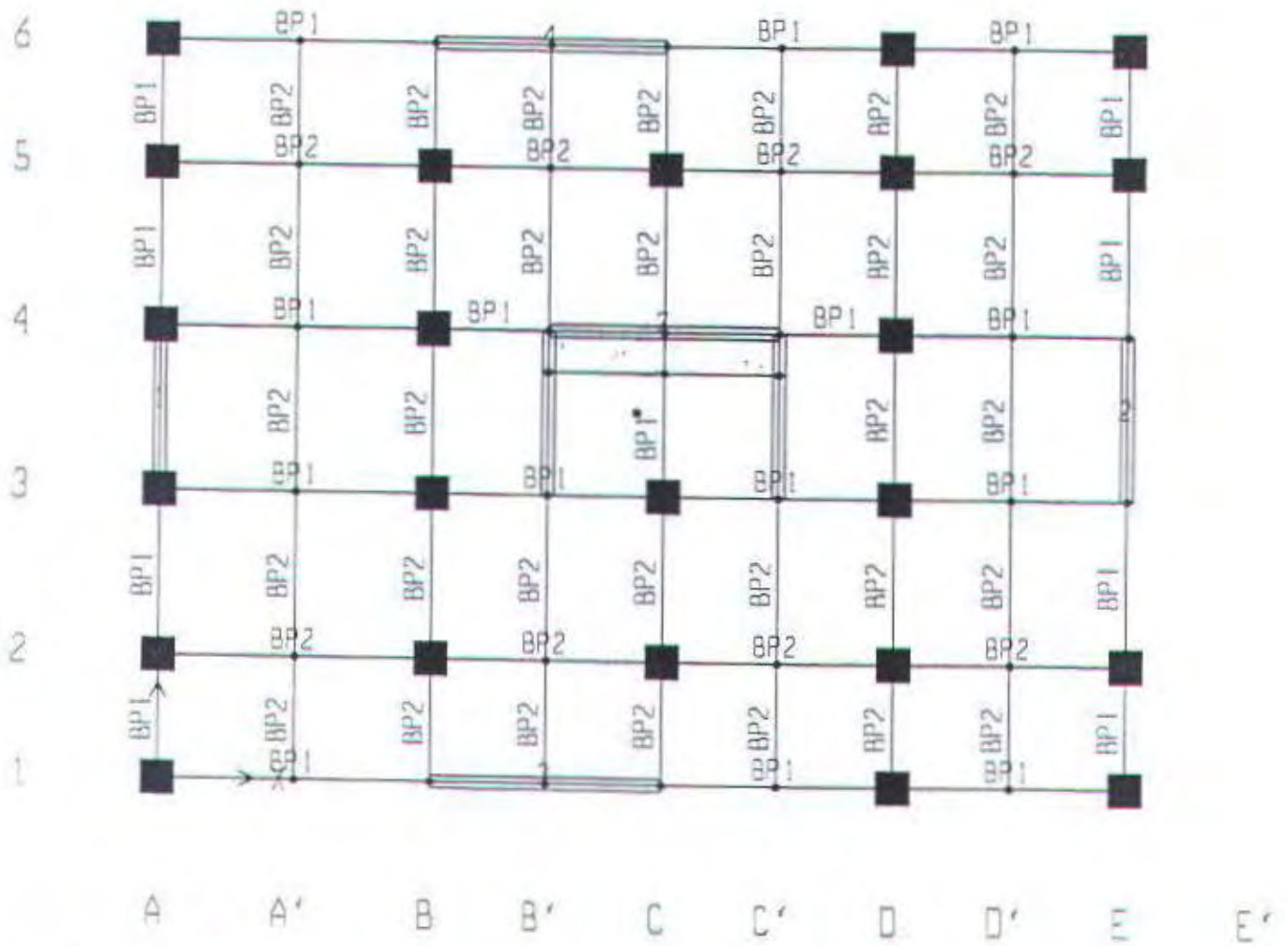
| Dimensi | | | | panjang daerah ujung mm | Mu max Nmm | As perlu mm ² | Tul. Pakai | | a mm | L mm | Mn Nmm | Mu/0.8 Nmm | ket. | Tul. Pasang daerah ujung | |
|---------|-----|-----|------|----------------------------|---------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------|------|--------------------------|------------|
| bal | b | b1 | Lw | | | | n | As ada mm ² | | | | | | dalam mm | luar mm |
| 100 | 500 | 500 | 4000 | 700 | 25169830 | 28.0913 | 2 | 226.08 | 9.48 | 3695.3 | 267336636 | 31482287.5 | OK | 3D12-200 | 3D12-300 |

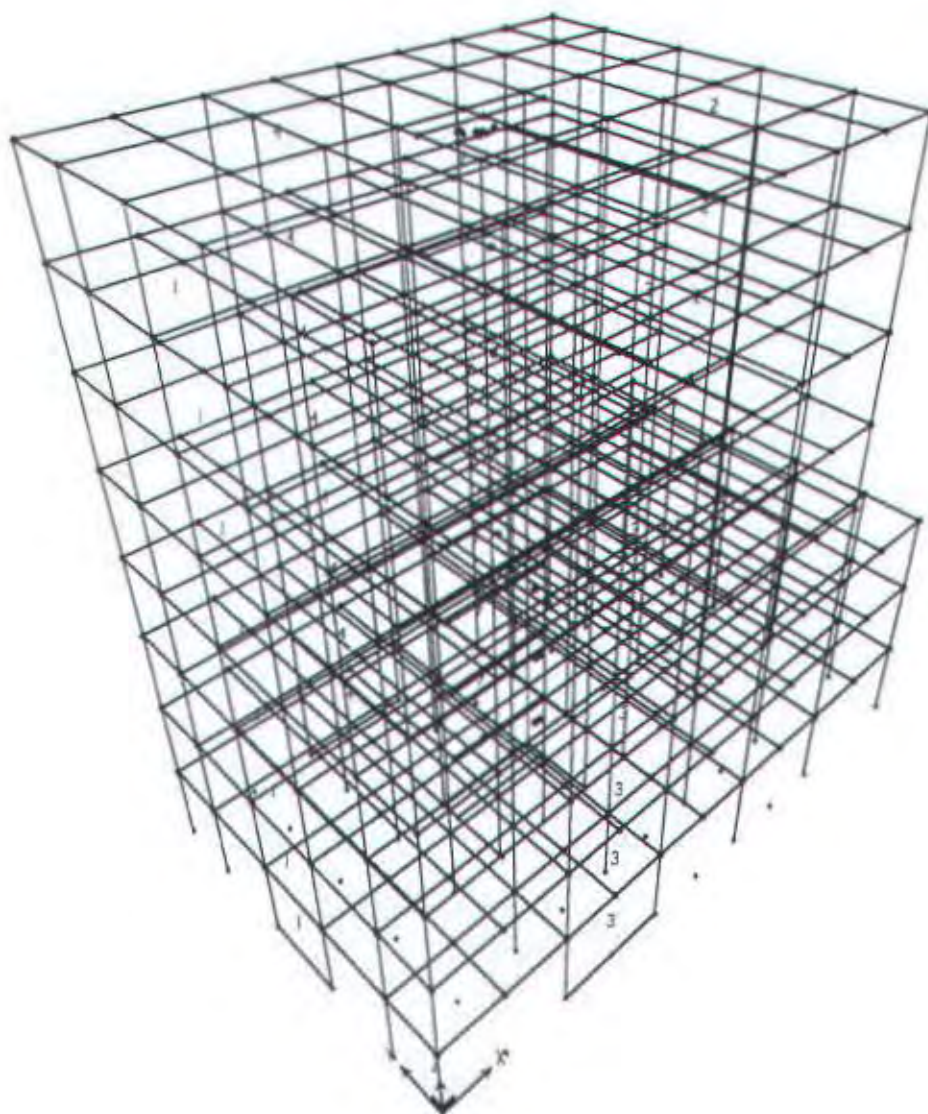
PENULANGAN GESER SHEARWALL HORIZONTAL

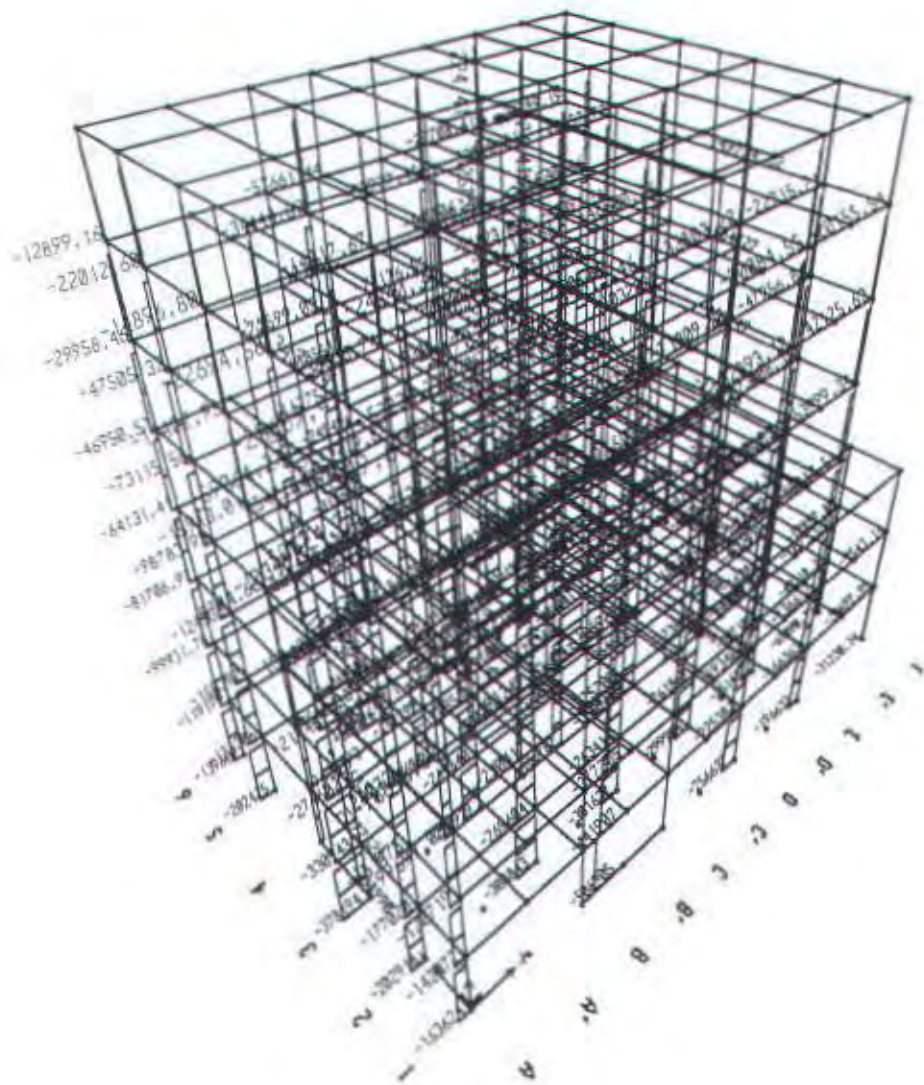
da
10 mm
ng s.wall = 300 mm

lar

| tebal mm | Lw mm | Panjang daerah ujung mm | Mkap,d Nmm | ME, dmak Nmm | VE, dmak N | Vnd mak N | s2 mm | syarat jarak | | | |
|-------------|----------|-------------------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------|-----|--------------|
| | | | | | | | | 3x t.dinding | 1/5xLw | 450 | daerah ujung |
| mm | mm | mm | Nmm | Nmm | N | N | mm | mm | mm | mm | |
| 300 | 5600 | 700 | 383089596 | 11994130 | 30085 | 874425.9 | 293.0196821 | 900 | 1120 | 450 | D10-30 |
| 300 | 4000 | 700 | 267336636 | 38094960 | 25472.7 | 162669.9 | 208.03 | 900 | 1120 | 450 | D10-20 |
| 300 | 5600 | 700 | 267336636 | 25169830 | 46520.7 | 449640.9 | 156.23 | 900 | 1120 | 450 | D10-15 |







ANALISA STRUKTUR UTAMA (ARAH X)

AUTO SEISMIC UBC 97
Case: A

AUTO SEISMIC INPUT DATA

Direction: X + EccY
Typical Eccentricity = 5%
Eccentricity Overrides: No

Period Calculation: User Defined
User T = 0.656

Top Story: ATAP
Bottom Story: BASE

R = 5.5
I = 1

Soil Profile Type = SD
Z = 0.2
Ca = 0.2800
Cv = 0.4000

AUTO SEISMIC CALCULATION FORMULAS

$V = (C_v I W) / (R T)$ (Eqn. 1)
 $V \leq 2.5 C_a I W / R$ (Eqn. 2)
 $V \geq 0.11 C_a I W$ (Eqn. 3)

If $T \leq 0.7$ sec, then $F_t = 0$
If $T > 0.7$ sec, then $F_t = 0.07 T V \leq 0.25 V$

AUTO SEISMIC CALCULATION RESULTS

T Used = 0.6560 sec
W Used = 8817913.10

V (Eqn 1) = 0.1109W
V (Eqn 2) = 0.1273W
V (Eqn 3) = 0.0308W
V (Eqn 4) = 0.0000W

V Used = 0.1109W = 977595.69
Ft Used = 0.00

AUTO SEISMIC STORY FORCES

| STORY | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|---|------|------|-------|-------|-------------|
| ATAP | (Forces reported at X = 11.7153, Y = 8.9585, Z = 32.0000) | | | | | |
| | 320837.62 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -152542.252 |
| LT8 | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 28.0000) | | | | | |
| | 384766.03 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -182966.895 |
| LT7 | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 24.0000) | | | | | |
| | 329799.46 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -152467.783 |
| LT6 | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 20.0000) | | | | | |
| | 274832.88 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -127056.486 |
| LT5 | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 16.0000) | | | | | |
| | 219866.31 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -101645.188 |
| LT4 | (Forces reported at X = 13.7185, Y = 9.0281, Z = 12.0000) | | | | | |
| | 191617.15 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -86762.810 |
| LT3 | (Forces reported at X = 13.8988, Y = 9.0278, Z = 8.0000) | | | | | |
| | 133229.24 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -58574.839 |
| LT2 | (Forces reported at X = 13.8988, Y = 9.0278, Z = 4.0000) | | | | | |
| | 66614.62 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | -30065.634 |

AUTO SEISMIC DIAPHRAGM FORCES

| STORY | DIAPHRAGM | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-----------|---|------|------|-------|-------|-------------|
| ATAP | D1 | (Forces reported at X = 11,7153, Y = 8,9585, Z = 32,0000) | | | | | |
| | | 319089,99 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -150722,014 |
| LT8 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 28,0000) | | | | | |
| | | 384233,66 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -182451,898 |
| LT7 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 24,0000) | | | | | |
| | | 166446,92 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -149802,216 |
| LT6 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 20,0000) | | | | | |
| | | 139705,76 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -124835,180 |
| LT5 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 16,0000) | | | | | |
| | | 110964,60 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -99868,144 |
| LT4 | D1 | (Forces reported at X = 13,7189, Y = 9,0281, Z = 12,0000) | | | | | |
| | | 96657,38 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -86991,641 |
| LT3 | D1 | (Forces reported at X = 13,8988, Y = 9,0278, Z = 8,0000) | | | | | |
| | | 65250,91 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -58725,817 |
| LT2 | D1 | (Forces reported at X = 13,8988, Y = 9,0278, Z = 4,0000) | | | | | |
| | | 32625,45 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | -29362,909 |

AUTO SEISMIC POINT FORCES

| STORY | POINT | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|---|------|------|-------|-------|-------|
| ATAP | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 32,0000) | | | | | |
| | | 1747,63 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT8 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 28,0000) | | | | | |
| | | 532,38 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT7 | 179 | (Point and forces located at X = 11,5226, Y = 9,0463, Z = 24,0000) | | | | | |
| | | 162896,23 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT7 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 24,0000) | | | | | |
| | | 456,32 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT6 | 179 | (Point and forces located at X = 11,5226, Y = 9,0463, Z = 20,0000) | | | | | |
| | | 135746,86 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT6 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 20,0000) | | | | | |
| | | 380,27 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT5 | 179 | (Point and forces located at X = 11,5226, Y = 9,0463, Z = 16,0000) | | | | | |
| | | 108597,49 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT5 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 16,0000) | | | | | |
| | | 304,21 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT4 | 180 | (Point and forces located at X = 13,5190, Y = 9,0234, Z = 12,0000) | | | | | |
| | | 94731,61 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT4 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 12,0000) | | | | | |
| | | 228,16 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT3 | 181 | (Point and forces located at X = 13,6108, Y = 9,0234, Z = 8,0000) | | | | | |
| | | 67826,22 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT3 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 8,0000) | | | | | |
| | | 192,11 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT2 | 182 | (Point and forces located at X = 13,6108, Y = 9,0463, Z = 4,0000) | | | | | |
| | | 33913,11 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT2 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 4,0000) | | | | | |
| | | 76,05 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

ANALISA STRUKTUR UTAMA (ARAH Y)

AUTO SEISMIC UBC 97
Case: B

AUTO SEISMIC INPUT DATA

Direction: Y + EccX
Typical Eccentricity = 5%
Eccentricity Overrides: No

Period Calculation: User Defined
User T = 0.656

Top Story: ATAP
Bottom Story: BASE

R = 5.5
I = 1

Soil Profile Type = SD
Z = 0.2
Ca = 0.2800
Cv = 0.4000

AUTO SEISMIC CALCULATION FORMULAS

$V = (C_v I W) / (R T)$ (Eqn. 1)
 $V \leq 2.5 C_a I W / R$ (Eqn. 2)
 $V \geq 0.11 C_a I W$ (Eqn. 3)

If T <= 0.7 sec, then Ft = 0
If T > 0.7 sec, then Ft = 0.07 T V <= 0.25 V

AUTO SEISMIC CALCULATION RESULTS

T Used = 0.6560 sec
W Used = 8817913.10

V (Eqn 1) = 0.1109W
V (Eqn 2) = 0.1273W
V (Eqn 3) = 0.0308W
V (Eqn 4) = 0.0000W

V Used = 0.1109W = 977595.69
Ft Used = 0.00

AUTO SEISMIC STORY FORCES

| STORY | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|---|----------|------|-------|-------|------------|
| ATAP | (Forces reported at X = 11.7153, Y = 8.9585, Z = 32.0000) | | | | | |
| | 0.00 | 20416.63 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 197729.675 |
| L7E | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 28.0000) | | | | | |
| | 0.00 | 4674.83 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 240652.098 |
| L7I | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 24.0000) | | | | | |
| | 0.00 | 4007.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 201897.495 |
| L7G | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 20.0000) | | | | | |
| | 0.00 | 3339.16 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 163247.904 |
| L7S | (Forces reported at X = 11.5647, Y = 9.0326, Z = 16.0000) | | | | | |
| | 0.00 | 2671.33 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 134598.324 |
| L74 | (Forces reported at X = 13.7185, Y = 9.0281, Z = 12.0000) | | | | | |
| | 0.00 | 2153.93 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 163538.899 |
| L73 | (Forces reported at X = 13.8988, Y = 9.0278, Z = 8.0000) | | | | | |
| | 0.00 | -2423.20 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 117155.264 |
| L72 | (Forces reported at X = 13.8988, Y = 9.0278, Z = 4.0000) | | | | | |
| | 0.00 | -1211.49 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 58577.600 |

AUTO SEISMIC DIAPHRAGM FORCES

| STORY | DIAPHRAGM | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-----------|---|-----------|------|-------|-------|------------|
| ATAP | D1 | (Forces reported at X = 11,7153, Y = 8,9585, Z = 32,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 18669,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 196882,591 |
| LT8 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 28,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 4142,46 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 240313,880 |
| LT7 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 24,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 166446,91 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 194742,881 |
| LT6 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 20,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 138705,76 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 162285,734 |
| LT5 | D1 | (Forces reported at X = 11,5647, Y = 9,0326, Z = 16,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 110964,60 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 129828,587 |
| LT4 | D1 | (Forces reported at X = 13,7185, Y = 9,0281, Z = 12,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 96657,38 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 144986,068 |
| LT3 | D1 | (Forces reported at X = 13,8988, Y = 9,0278, Z = 8,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 65250,91 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 97876,162 |
| LT2 | D1 | (Forces reported at X = 13,8988, Y = 9,0278, Z = 4,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 32625,45 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 48938,181 |

AUTO SEISMIC POINT FORCES

| STORY | POINT | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|---|------------|------|-------|-------|-------|
| ATAP | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 32,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 1747,63 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT8 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 28,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 532,38 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT7 | 179 | (Point and forces located at X = 11,5226, Y = 9,0463, Z = 24,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | -162896,23 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT7 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 24,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 456,32 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT6 | 179 | (Point and forces located at X = 11,5226, Y = 9,0463, Z = 20,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | -133746,86 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT6 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 20,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 380,27 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT5 | 179 | (Point and forces located at X = 11,5226, Y = 9,0463, Z = 16,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | -108597,49 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT5 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 16,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 304,21 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT4 | 180 | (Point and forces located at X = 13,5190, Y = 9,0234, Z = 12,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | -94731,61 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT4 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 12,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 228,16 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT3 | 181 | (Point and forces located at X = 13,6108, Y = 9,0234, Z = 8,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | -67826,22 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT3 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 8,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 152,11 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT2 | 182 | (Point and forces located at X = 13,6108, Y = 9,0463, Z = 4,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | -33913,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LT2 | 301 | (Point and forces located at X = 12,2000, Y = 10,0000, Z = 4,0000) | | | | | |
| | | 0,00 | 76,05 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

| Story | Item | Load | Point | X | Y | Z | DriftX | DriftY |
|-------|------------|--------|-------|------|----|----|----------|----------|
| ATAP | Diaph D1 X | I | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000021 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | I | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.000064 |
| ATAP | Diaph D1 X | II | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000005 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | II | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.000019 |
| ATAP | Diaph D1 X | A | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.005175 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | A | 17 | 23.4 | 7 | 32 | | 0.001377 |
| ATAP | Diaph D1 X | B | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000602 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | B | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.002668 |
| ATAP | Diaph D1 X | C | 71 | 20.6 | 18 | 32 | 0 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | C | 71 | 20.6 | 18 | 32 | | 0 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB1 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000038 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB1 | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.000149 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB2 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.005136 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB2 | 17 | 23.4 | 7 | 32 | | 0.001222 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB3 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000763 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB3 | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.002713 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB4 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.005153 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB4 | 17 | 23.4 | 7 | 32 | | 0.00129 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB5 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000781 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB5 | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.002781 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB6 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.014462 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB6 | 17 | 23.4 | 7 | 32 | | 0.003746 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB7 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.002218 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB7 | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.007922 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB8 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.014471 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB8 | 17 | 23.4 | 7 | 32 | | 0.00378 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB9 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.002225 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB9 | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.007949 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB10 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000026 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB10 | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.000102 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB11 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.005149 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB11 | 17 | 23.4 | 7 | 32 | | 0.001275 |
| ATAP | Diaph D1 X | COMB12 | 66 | 20.6 | 0 | 32 | 0.000776 | |
| ATAP | Diaph D1 Y | COMB12 | 43 | 23.4 | 18 | 32 | | 0.002766 |
| LT8 | Diaph D1 X | I | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.00002 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | I | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.000081 |
| LT8 | Diaph D1 X | II | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.000005 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | II | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.000018 |
| LT8 | Diaph D1 X | A | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.005244 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | A | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.001362 |
| LT8 | Diaph D1 X | B | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.000632 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | B | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.002944 |
| LT8 | Diaph D1 X | C | 71 | 20.6 | 18 | 28 | 0 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | C | 71 | 20.6 | 18 | 28 | | 0 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB1 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.000037 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB1 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.000144 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB2 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.005206 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB2 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.001232 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB3 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.000794 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB3 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.002794 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB4 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.005223 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB4 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.001296 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB5 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.000811 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB5 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.00286 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB6 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.014655 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB6 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.003764 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|--------|----|------|----|----|----------|----------|
| LT8 | Diaph D1 X | COMB7 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.002302 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB7 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.008137 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB8 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.014664 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB8 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.003797 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB9 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.002309 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB9 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.008163 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB10 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.000025 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB10 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.000099 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB11 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.005218 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB11 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.001263 |
| LT8 | Diaph D1 X | COMB12 | 66 | 20.6 | 0 | 28 | 0.000806 | |
| LT8 | Diaph D1 Y | COMB12 | 43 | 23.4 | 18 | 28 | | 0.002845 |
| LT7 | Diaph D1 X | I | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.000018 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | I | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.000075 |
| LT7 | Diaph D1 X | II | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.000005 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | II | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.000017 |
| LT7 | Diaph D1 X | A | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.005151 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | A | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.001351 |
| LT7 | Diaph D1 X | B | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.000859 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | B | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.003047 |
| LT7 | Diaph D1 X | C | 71 | 20.6 | 18 | 24 | 0 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | C | 71 | 20.6 | 18 | 24 | | 0 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB1 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.000033 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB1 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.000134 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB2 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.005117 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB2 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.001211 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB3 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.000825 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB3 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.002907 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB4 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.005132 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB4 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.001273 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB5 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.00084 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB5 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.002969 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB6 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.014399 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB6 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.003684 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB7 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.002361 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB7 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.008432 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB8 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.014407 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB8 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.003715 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB9 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.002388 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB9 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.008457 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB10 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.000023 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB10 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.000092 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB11 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.005126 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB11 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.001259 |
| LT7 | Diaph D1 X | COMB12 | 66 | 20.6 | 0 | 24 | 0.000836 | |
| LT7 | Diaph D1 Y | COMB12 | 43 | 23.4 | 18 | 24 | | 0.002954 |
| LT6 | Diaph D1 X | I | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.000016 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | I | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.000067 |
| LT6 | Diaph D1 X | II | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.000004 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | II | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.000016 |
| LT6 | Diaph D1 X | A | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.004872 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | A | 11 | 23.4 | 3 | 20 | | 0.001269 |
| LT6 | Diaph D1 X | B | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.000865 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | B | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.003072 |
| LT6 | Diaph D1 X | C | 71 | 20.6 | 18 | 20 | 0 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | C | 71 | 20.6 | 18 | 20 | | 0 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB1 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.000029 | |



| | | | | | | | | |
|-----|------------|--------|----|------|----|----|----------|----------|
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB1 | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.00012 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB2 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.004842 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB2 | 11 | 23.4 | 3 | 20 | | 0.001145 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB3 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.000835 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB3 | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.002946 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB4 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.004856 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB4 | 11 | 23.4 | 3 | 20 | | 0.0012 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB5 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.000848 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB5 | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.003003 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB6 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.013622 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB6 | 11 | 23.4 | 3 | 20 | | 0.003466 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB7 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.0024 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB7 | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.008515 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB8 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.013629 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB8 | 11 | 23.4 | 3 | 20 | | 0.003494 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB9 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.002406 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB9 | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.008537 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB10 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.00002 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB10 | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.000082 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB11 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.004853 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB11 | 11 | 23.4 | 3 | 20 | | 0.001167 |
| LT6 | Diaph D1 X | COMB12 | 66 | 20.6 | 0 | 20 | 0.000845 | |
| LT6 | Diaph D1 Y | COMB12 | 43 | 23.4 | 18 | 20 | | 0.00299 |
| LT5 | Diaph D1 X | I | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000011 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | I | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.000056 |
| LT5 | Diaph D1 X | II | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000003 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | II | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.000013 |
| LT5 | Diaph D1 X | A | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.004364 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | A | 23 | 23.4 | 11 | 16 | | 0.001121 |
| LT5 | Diaph D1 X | B | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000823 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | B | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.002929 |
| LT5 | Diaph D1 X | C | 71 | 20.6 | 18 | 16 | 0 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | C | 71 | 20.6 | 18 | 16 | | 0 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB1 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000021 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB1 | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.000101 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB2 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.004342 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB2 | 23 | 23.4 | 11 | 16 | | 0.001016 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB3 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000801 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB3 | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.002824 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB4 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.004353 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB4 | 23 | 23.4 | 11 | 16 | | 0.001063 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB5 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000811 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB5 | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.002871 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB6 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.012205 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB6 | 23 | 23.4 | 11 | 16 | | 0.003065 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB7 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.002288 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB7 | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.008127 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB8 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.01221 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB8 | 23 | 23.4 | 11 | 16 | | 0.003089 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB9 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.002293 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB9 | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.008146 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB10 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000015 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB10 | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.000069 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB11 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.00435 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB11 | 23 | 23.4 | 11 | 16 | | 0.001052 |
| LT5 | Diaph D1 X | COMB12 | 66 | 20.6 | 0 | 16 | 0.000808 | |
| LT5 | Diaph D1 Y | COMB12 | 43 | 23.4 | 18 | 16 | | 0.00286 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|--------|----|------|----|----|----------|----------|
| LT4 | Diaph D1 X | I | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000009 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | I | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.000046 |
| LT4 | Diaph D1 X | II | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000063 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | II | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.000011 |
| LT4 | Diaph D1 X | A | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.00359 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | A | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.001308 |
| LT4 | Diaph D1 X | B | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000714 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | B | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.002962 |
| LT4 | Diaph D1 X | C | 83 | 26.7 | 18 | 12 | 0 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | C | 83 | 26.7 | 18 | 12 | | 0 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB1 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000017 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB1 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.000062 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB2 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.003573 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB2 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.001223 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB3 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000697 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB3 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.002876 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB4 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.003581 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB4 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.001261 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB5 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000705 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB5 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.002914 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB6 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.010041 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB6 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.003604 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB7 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.001987 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB7 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.008232 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB8 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.010045 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB8 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.003623 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB9 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.00199 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB9 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.008247 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB10 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000011 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB10 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.000057 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB11 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.003579 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB11 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.001252 |
| LT4 | Diaph D1 X | COMB12 | 78 | 26.7 | 0 | 12 | 0.000702 | |
| LT4 | Diaph D1 Y | COMB12 | 44 | 30 | 18 | 12 | | 0.002905 |
| LT3 | Diaph D1 X | I | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.000005 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | I | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.000029 |
| LT3 | Diaph D1 X | II | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.000001 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | II | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.000007 |
| LT3 | Diaph D1 X | A | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.002515 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | A | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.000666 |
| LT3 | Diaph D1 X | B | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.000518 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | B | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.002163 |
| LT3 | Diaph D1 X | C | 83 | 26.7 | 18 | 8 | 0 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | C | 83 | 26.7 | 18 | 8 | | 0 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB1 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.00001 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB1 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.000053 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB2 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.002505 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB2 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.000811 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB3 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.000508 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB3 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.002109 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB4 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.002509 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB4 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.000835 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB5 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.000513 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB5 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.002133 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB6 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.007034 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB6 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.002386 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB7 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.001444 | |

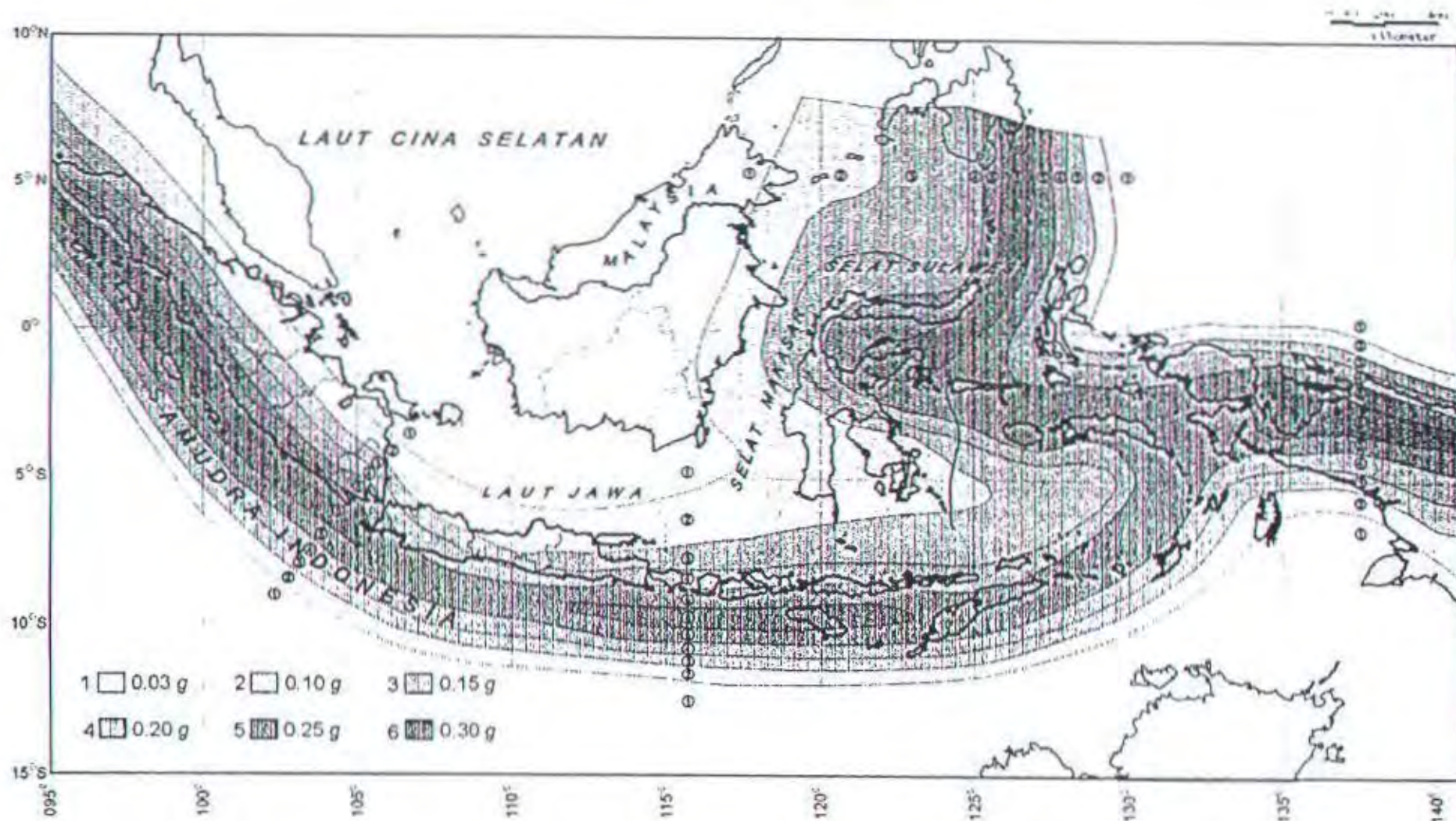
| | | | | | | | | |
|-----|------------|--------|----|------|----|---|----------|----------|
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB7 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.006019 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB8 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.007036 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB8 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.002368 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB9 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.001445 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB9 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.006029 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB10 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.000007 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB10 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.000036 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB11 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.002508 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB11 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.00083 |
| LT3 | Diaph D1 X | COMB12 | 78 | 26.7 | 0 | 8 | 0.000511 | |
| LT3 | Diaph D1 Y | COMB12 | 44 | 30 | 18 | 8 | | 0.002127 |
| LT2 | Diaph D1 X | I | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000001 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | I | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.00001 |
| LT2 | Diaph D1 X | II | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | II | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000002 |
| LT2 | Diaph D1 X | A | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.001051 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | A | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000306 |
| LT2 | Diaph D1 X | B | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000206 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | B | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000901 |
| LT2 | Diaph D1 X | C | 71 | 20.6 | 18 | 4 | 0 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | C | 71 | 20.6 | 18 | 4 | | 0 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB1 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000003 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB1 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000018 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB2 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.001048 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB2 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000287 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB3 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000203 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB3 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000682 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB4 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.001049 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB4 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000295 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB5 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000205 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB5 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000891 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB6 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.00294 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB6 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000842 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB7 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000576 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB7 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.002511 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB8 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.002941 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB8 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000847 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB9 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000576 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB9 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.002514 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB10 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000002 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB10 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000013 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB11 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.001049 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB11 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000293 |
| LT2 | Diaph D1 X | COMB12 | 66 | 20.6 | 0 | 4 | 0.000204 | |
| LT2 | Diaph D1 Y | COMB12 | 44 | 30 | 18 | 4 | | 0.000889 |

OUTPUT SHEARWALL

| Story | Pier | Load | Loc | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|------|---------|--------|-----------|----------|---------|----------|----|-----------|
| ATAP | | 2 COMB1 | Bottom | -45042.6 | -3501.2 | -0.66 | -0.144 | 0 | -8293.111 |
| ATAP | | 2 COMB2 | Top | -31975.7 | 7773.24 | 122.51 | -8.953 | 0 | -28574.82 |
| ATAP | | 2 COMB2 | Bottom | -49734.62 | 7773.24 | 122.51 | -0.131 | 0 | 2693.246 |
| ATAP | | 2 COMB3 | Top | -30838.59 | 123.82 | 0.27 | -23.957 | 0 | -55396.08 |
| ATAP | | 2 COMB3 | Bottom | -48597.51 | 123.82 | 0.27 | 17.485 | 0 | -54511.15 |
| ATAP | | 2 COMB4 | Top | -20035.78 | 9305.11 | 122.82 | -9.081 | 0 | -31110.52 |
| ATAP | | 2 COMB4 | Bottom | -32028.82 | 9305.11 | 122.82 | -0.066 | 0 | 6294.572 |
| ATAP | | 2 COMB5 | Top | -18898.68 | 1655.69 | 0.59 | -24.084 | 0 | -57931.78 |
| ATAP | | 2 COMB5 | Bottom | -30891.71 | 1655.69 | 0.59 | 17.55 | 0 | -50909.83 |
| ATAP | | 2 COMB6 | Top | -26028.39 | 29420.36 | 344.44 | -25.681 | 0 | -92530.93 |
| ATAP | | 2 COMB6 | Bottom | -39866.51 | 29420.36 | 344.44 | -0.053 | -0 | 25686.05 |
| ATAP | | 2 COMB7 | Top | -22844.5 | 8001.99 | 2.2 | -67.691 | 0 | -167630.4 |
| ATAP | | 2 COMB7 | Bottom | -36682.62 | 8001.99 | 2.2 | 49.273 | 0 | -134486.3 |
| ATAP | | 2 COMB8 | Top | -19558.78 | 30218.79 | 344.59 | -25.746 | 0 | -93842.91 |
| ATAP | | 2 COMB8 | Bottom | -29937.37 | 30218.79 | 344.59 | -0.02 | 0 | 27572.61 |
| ATAP | | 2 COMB9 | Top | -18009.45 | 8614.14 | 2.32 | -67.742 | 0 | -168641.2 |
| ATAP | | 2 COMB9 | Bottom | -29425.9 | 8614.14 | 2.32 | 49.299 | 0 | -133044.7 |
| LT8 | | 2 COMB1 | Top | -79772.71 | -2813.87 | -1.56 | 0.668 | 0 | -1901.451 |
| LT8 | | 2 COMB1 | Bottom | -95917.18 | -2813.87 | -1.56 | -0.359 | 0 | -13203.28 |
| LT8 | | 2 COMB2 | Top | -86967.86 | 15449.56 | 295 | -41.041 | 0 | -26895.16 |
| LT8 | | 2 COMB2 | Bottom | -104726.8 | 15449.56 | 295 | 20.082 | 0 | 35309.22 |
| LT8 | | 2 COMB3 | Top | -84391.01 | 4549.24 | 8.08 | -48.954 | 0 | -112656.9 |
| LT8 | | 2 COMB3 | Bottom | -102149.9 | 4549.24 | 8.08 | 33.439 | 0 | -93536.4 |
| LT8 | | 2 COMB4 | Top | -52820.52 | 16765.94 | 295.74 | -41.348 | 0 | -26268.65 |
| LT8 | | 2 COMB4 | Bottom | -64813.56 | 16765.94 | 295.74 | 20.249 | 0 | 41222.63 |
| LT8 | | 2 COMB5 | Top | -50243.68 | 5865.63 | 8.82 | -49.261 | 0 | -112030.4 |
| LT8 | | 2 COMB5 | Bottom | -62236.72 | 5865.63 | 8.82 | 33.605 | 0 | -87623 |
| LT8 | | 2 COMB6 | Top | -68747.13 | 49372.63 | 829.37 | -116.37 | 0 | -71056.01 |
| LT8 | | 2 COMB6 | Bottom | -82585.25 | 49372.63 | 829.37 | 57.012 | -0 | 127672.6 |
| LT8 | | 2 COMB7 | Top | -61531.98 | 18851.75 | 25.99 | -138.525 | 0 | -311188.8 |
| LT8 | | 2 COMB7 | Bottom | -75370.1 | 18851.75 | 25.99 | 94.409 | 0 | -233095.1 |
| LT8 | | 2 COMB8 | Top | -50684.65 | 50028.91 | 829.73 | -116.524 | 0 | -70657.55 |
| LT8 | | 2 COMB8 | Bottom | -61063.24 | 50028.91 | 829.73 | 57.096 | 0 | 130706.9 |
| LT8 | | 2 COMB9 | Top | -47817.98 | 19370.07 | 26.28 | -138.646 | 0 | -310919.8 |
| LT8 | | 2 COMB9 | Bottom | -59234.43 | 19370.07 | 26.28 | 94.475 | 0 | -230744.5 |
| LT7 | | 2 COMB1 | Top | -130713.7 | -2585.26 | -2.23 | 0.86 | 0 | -7044.716 |
| LT7 | | 2 COMB1 | Bottom | -146858.2 | -2585.26 | -2.23 | -0.41 | 0 | -17453.35 |
| LT7 | | 2 COMB2 | Top | -141989.8 | 18803.33 | 457.43 | -58.402 | 0 | 6052.637 |
| LT7 | | 2 COMB2 | Bottom | -159748.8 | 18803.33 | 457.43 | 26.356 | 0 | 81891.1 |
| LT7 | | 2 COMB3 | Top | -138029.5 | 34069.37 | 15.65 | -65.129 | 0 | -153563.4 |
| LT7 | | 2 COMB3 | Bottom | -155788.4 | 34069.37 | 15.65 | 39.881 | 0 | -15782.93 |
| LT7 | | 2 COMB4 | Top | -85613.44 | 20019.8 | 458.5 | -58.8 | 0 | 9090.852 |
| LT7 | | 2 COMB4 | Bottom | -97606.47 | 20019.8 | 458.5 | 26.546 | 0 | 89826.42 |
| LT7 | | 2 COMB5 | Top | -81653.11 | 35285.84 | 16.71 | -65.526 | 0 | -150525.2 |
| LT7 | | 2 COMB5 | Bottom | -93646.15 | 35285.84 | 16.71 | 40.072 | 0 | -7847.608 |
| LT7 | | 2 COMB6 | Top | -111400.7 | 58263.29 | 1285.64 | -165.398 | 0 | 32370.41 |
| LT7 | | 2 COMB6 | Bottom | -125238.8 | 58263.29 | 1285.64 | 74.689 | -0 | 267321 |
| LT7 | | 2 COMB7 | Top | -100311.8 | 101008.2 | 48.63 | -184.232 | 0 | -414554.6 |
| LT7 | | 2 COMB7 | Bottom | -114149.9 | 101008.2 | 48.63 | 112.56 | 0 | -6166.258 |
| LT7 | | 2 COMB8 | Top | -81731.44 | 58867.45 | 1286.16 | -165.597 | 0 | 33969.38 |
| LT7 | | 2 COMB8 | Bottom | -92110.03 | 58867.45 | 1286.16 | 74.784 | 0 | 271352.4 |
| LT7 | | 2 COMB9 | Top | -77709.51 | 101486.6 | 49.05 | -184.389 | 0 | -413336.5 |

| | | | | | | | |
|-----|---------|--------|-----------|----------|---------|----------|-------------|
| LT7 | 2 COMB9 | Bottom | -89125.96 | 101486.6 | 49.05 | 112.635 | 0 -3022.327 |
| LT6 | 2 COMB1 | Bottom | -197785.2 | -2605.57 | -2.63 | -0.339 | 0 -22061.66 |
| LT6 | 2 COMB2 | Top | -196950.9 | 22394.83 | 591.55 | -62.798 | 0 53701.25 |
| LT6 | 2 COMB2 | Bottom | -214709.8 | 22394.83 | 591.55 | 21.845 | 0 144084.4 |
| LT6 | 2 COMB3 | Top | -191653.6 | 57463.33 | 22.78 | -71.777 | 0 -77853.06 |
| LT6 | 2 COMB3 | Bottom | -209412.5 | 57463.33 | 22.78 | 36.974 | 0 154072.5 |
| LT6 | 2 COMB4 | Top | -118349 | 23620.72 | 592.81 | -63.207 | 0 58879.57 |
| LT6 | 2 COMB4 | Bottom | -130342 | 23620.72 | 592.81 | 22.003 | 0 154204.3 |
| LT6 | 2 COMB5 | Top | -113051.6 | 58689.22 | 24.04 | -72.185 | 0 -72674.73 |
| LT6 | 2 COMB5 | Bottom | -125044.7 | 58689.22 | 24.04 | 37.131 | 0 164192.4 |
| LT6 | 2 COMB6 | Top | -153915.7 | 68363.65 | 1662.04 | -177.752 | 0 175578.1 |
| LT6 | 2 COMB6 | Bottom | -167753.8 | 68363.65 | 1662.04 | 61.904 | -0 451461.9 |
| LT6 | 2 COMB7 | Top | -139083.1 | 166555.5 | 69.47 | -202.892 | 0 -192773.9 |
| LT6 | 2 COMB7 | Bottom | -152921.2 | 166555.5 | 69.47 | 104.263 | 0 479428.8 |
| LT6 | 2 COMB8 | Top | -112642.4 | 68972.54 | 1662.66 | -177.957 | 0 178234.6 |
| LT6 | 2 COMB8 | Bottom | -123021 | 68972.54 | 1662.66 | 61.983 | 0 456573 |
| LT6 | 2 COMB9 | Top | -107594.2 | 167037.6 | 69.97 | -203.053 | 0 -190715.6 |
| LT6 | 2 COMB9 | Bottom | -119010.7 | 167037.6 | 69.97 | 104.325 | 0 483430.5 |
| LT5 | 2 COMB1 | Top | -232539.5 | -2427.01 | -2.29 | 0.78 | 0 -16561.59 |
| LT5 | 2 COMB1 | Bottom | -248684 | -2427.01 | -2.29 | -0.215 | 0 -26356.86 |
| LT5 | 2 COMB2 | Top | -251780.2 | 25411.44 | 673.93 | -57.95 | 0 118397.4 |
| LT5 | 2 COMB2 | Bottom | -269539.1 | 25411.44 | 673.93 | 12.165 | 0 220945.6 |
| LT5 | 2 COMB3 | Top | -245251.9 | 76031.77 | 28.78 | -68.538 | 0 92700.78 |
| LT5 | 2 COMB3 | Bottom | -263010.8 | 76031.77 | 28.78 | 26.38 | 0 399337 |
| LT5 | 2 COMB4 | Top | -150963.5 | 26569.5 | 675.07 | -58.313 | 0 125939.9 |
| LT5 | 2 COMB4 | Bottom | -162956.5 | 26569.5 | 675.07 | 12.265 | 0 233160.8 |
| LT5 | 2 COMB5 | Top | -144435.2 | 77189.83 | 29.91 | -68.9 | 0 100243.3 |
| LT5 | 2 COMB5 | Bottom | -156428.2 | 77189.83 | 29.91 | 26.479 | 0 411552.2 |
| LT5 | 2 COMB6 | Top | -196124.1 | 76415.08 | 1891.96 | -163.956 | 0 367590.1 |
| LT5 | 2 COMB6 | Bottom | -209962.2 | 76415.08 | 1891.96 | 34.53 | 0 675966.9 |
| LT5 | 2 COMB7 | Top | -177844.7 | 218152 | 85.51 | -193.601 | 0 295639.5 |
| LT5 | 2 COMB7 | Bottom | -191682.8 | 218152 | 85.51 | 74.332 | 0 1175463 |
| LT5 | 2 COMB8 | Top | -143253 | 76985.01 | 1892.5 | -164.137 | 0 371417.6 |
| LT5 | 2 COMB8 | Bottom | -153631.6 | 76985.01 | 1892.5 | 34.58 | 0 682094.5 |
| LT5 | 2 COMB9 | Top | -137473.7 | 218606.1 | 85.95 | -193.744 | 0 298626.7 |
| LT5 | 2 COMB9 | Bottom | -148890.1 | 218606.1 | 85.95 | 74.371 | 0 1180282 |
| LT4 | 2 COMB1 | Top | -328321.4 | -2332.68 | -2.54 | 0.672 | 0 -20865.98 |
| LT4 | 2 COMB1 | Bottom | -344465.9 | -2332.68 | -2.54 | -0.072 | 0 -30290.19 |
| LT4 | 2 COMB2 | Top | -353135.6 | 24240.05 | 780.07 | -52.428 | 0 194138.3 |
| LT4 | 2 COMB2 | Bottom | -370894.5 | 24240.05 | 780.07 | 1.214 | 0 292109.6 |
| LT4 | 2 COMB3 | Top | -346437 | 91431.33 | 34.97 | -64.776 | 0 332483.7 |
| LT4 | 2 COMB3 | Bottom | -364195.9 | 91431.33 | 34.97 | 13.261 | 0 701267.4 |
| LT4 | 2 COMB4 | Top | -211062.3 | 25344.69 | 781.31 | -52.741 | 0 203730.4 |
| LT4 | 2 COMB4 | Bottom | -223055.3 | 25344.69 | 781.31 | 1.247 | 0 306163.8 |
| LT4 | 2 COMB5 | Top | -204363.7 | 92535.97 | 36.2 | -65.089 | 0 342075.9 |
| LT4 | 2 COMB5 | Bottom | -216356.7 | 92535.97 | 36.2 | 13.295 | 0 715321.6 |
| LT4 | 2 COMB6 | Top | -270200 | 72934.45 | 2189.7 | -148.257 | 0 589000.6 |
| LT4 | 2 COMB6 | Bottom | -284038.1 | 72934.45 | 2189.7 | 3.557 | 0 883772.8 |
| LT4 | 2 COMB7 | Top | -251444 | 261070 | 103.4 | -182.833 | 0 976367.8 |
| LT4 | 2 COMB7 | Bottom | -265282.1 | 261070 | 103.4 | 37.289 | 0 2029415 |
| LT4 | 2 COMB8 | Top | -195597.7 | 73480.79 | 2190.3 | -148.414 | 0 593838.2 |
| LT4 | 2 COMB8 | Bottom | -205976.2 | 73480.79 | 2190.3 | 3.574 | 0 890817.5 |
| LT4 | 2 COMB9 | Top | -194527.5 | 261503.8 | 103.88 | -182.957 | 0 980159 |

| | | | | | | | | |
|-----|---------|--------|-----------|----------|---------|----------|---|-----------|
| LT4 | 2 COMB9 | Bottom | -205943.9 | 261503.8 | 103.88 | 37.303 | 0 | 2034958 |
| LT3 | 2 COMB1 | Top | -431203.3 | -2275.17 | -1.8 | 0.431 | 0 | -25645.5 |
| LT3 | 2 COMB1 | Bottom | -447347.7 | -2275.17 | -1.8 | 0.055 | 0 | -34823.27 |
| LT3 | 2 COMB2 | Top | -459600.9 | 23486.73 | 713.88 | -34.448 | 0 | 272837.2 |
| LT3 | 2 COMB2 | Bottom | -477359.8 | 23486.73 | 713.88 | -9.421 | 0 | 367649.5 |
| LT3 | 2 COMB3 | Top | -453349.5 | 108084 | 32.42 | -46.23 | 0 | 647497.7 |
| LT3 | 2 COMB3 | Bottom | -471108.5 | 108084 | 32.42 | -2.609 | 0 | 1082722 |
| LT3 | 2 COMB4 | Top | -270260.8 | 24560.24 | 714.76 | -34.649 | 0 | 284714.1 |
| LT3 | 2 COMB4 | Bottom | -282253.8 | 24560.24 | 714.76 | -9.447 | 0 | 383856.3 |
| LT3 | 2 COMB5 | Top | -264009.4 | 109157.5 | 33.3 | -46.431 | 0 | 659374.6 |
| LT3 | 2 COMB5 | Bottom | -276002.5 | 109157.5 | 33.3 | -2.635 | 0 | 1098929 |
| LT3 | 2 COMB6 | Top | -344374.1 | 70702.11 | 2002.76 | -97.391 | 0 | 819720.2 |
| LT3 | 2 COMB6 | Bottom | -358212.2 | 70702.11 | 2002.76 | -26.498 | 0 | 1105119 |
| LT3 | 2 COMB7 | Top | -326870.3 | 307574.5 | 94.67 | -130.379 | 0 | 1868770 |
| LT3 | 2 COMB7 | Bottom | -340708.5 | 307574.5 | 94.67 | -7.425 | 0 | 3107323 |
| LT3 | 2 COMB8 | Top | -245924.4 | 71234.31 | 2003.18 | -97.491 | 0 | 825680.9 |
| LT3 | 2 COMB8 | Bottom | -256303 | 71234.31 | 2003.18 | -26.511 | 0 | 1113227 |
| LT3 | 2 COMB9 | Top | -251269.8 | 307996.5 | 95.01 | -130.458 | 0 | 1873456 |
| LT3 | 2 COMB9 | Bottom | -262686.3 | 307996.5 | 95.01 | -7.436 | 0 | 3113711 |
| LT2 | 2 COMB1 | Top | -534988.3 | -1112.61 | -0.56 | 0.149 | 0 | -31056.24 |
| LT2 | 2 COMB1 | Bottom | -551132.8 | -1112.61 | -0.56 | 0.052 | 0 | -35539.48 |
| LT2 | 2 COMB2 | Top | -567338.9 | 9789.24 | 376.74 | -12.983 | 0 | 358284 |
| LT2 | 2 COMB2 | Bottom | -585097.8 | 9789.24 | 376.74 | -6.054 | 0 | 397816.2 |
| LT2 | 2 COMB3 | Top | -561242.4 | 147260.6 | 15.23 | -18.154 | 0 | 1050798 |
| LT2 | 2 COMB3 | Bottom | -579001.3 | 147260.6 | 15.23 | -6.121 | 0 | 1641309 |
| LT2 | 2 COMB4 | Top | -330357 | 10315.55 | 377.02 | -13.053 | 0 | 372719.3 |
| LT2 | 2 COMB4 | Bottom | -342350.1 | 10315.55 | 377.02 | -6.079 | 0 | 414372.1 |
| LT2 | 2 COMB5 | Top | -324260.5 | 147786.9 | 15.51 | -18.223 | 0 | 1065234 |
| LT2 | 2 COMB5 | Bottom | -336253.5 | 147786.9 | 15.51 | -6.146 | 0 | 1657864 |
| LT2 | 2 COMB6 | Top | -420127.9 | 29824.69 | 1056.09 | -36.676 | 0 | 1070715 |
| LT2 | 2 COMB6 | Bottom | -433966.1 | 29824.69 | 1056.09 | -17.065 | 0 | 1191136 |
| LT2 | 2 COMB7 | Top | -403057.6 | 414744.4 | 43.87 | -51.154 | 0 | 3009755 |
| LT2 | 2 COMB7 | Bottom | -416895.7 | 414744.4 | 43.87 | -17.253 | 0 | 4672915 |
| LT2 | 2 COMB8 | Top | -297628.3 | 30085.18 | 1056.22 | -36.711 | 0 | 1077942 |
| LT2 | 2 COMB8 | Bottom | -308006.9 | 30085.18 | 1056.22 | -17.077 | 0 | 1199413 |
| LT2 | 2 COMB9 | Top | -308621.3 | 414951.1 | 43.98 | -51.182 | 0 | 3015447 |
| LT2 | 2 COMB9 | Bottom | -320037.7 | 414951.1 | 43.98 | -17.262 | 0 | 4679439 |



PETA GEMPA INDONESIA

| TESTANA ENGINEERING, Inc. | | A.B.L. 12 DRING LOG | | BOREHOLE #: BH-4 | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|---|--------------------------------|------|---------------------|----|----|------|------|------|----|
| PROJECT: Tower | | COORINATE: | | GROUND WATER LEVEL: -0.98 m | | | | | | | | |
| LOCATION: Jl. Airlangga No. 100, Surabaya | | DEPTH: -30 m | | GROUND SURFACE LEVEL: ± 0.00 m | | | | | | | | |
| DEPTH m | SOIL DESCRIPTION | STANDARD PENETRATION TEST | | STRENGTH TEST | | ATTERBERG LIMITS | | γ | Gs | e | w | |
| | | q | f | TYPE | C | φ | LL | | | | | PL |
| 0 | Clay, brown, inorganic, some silt, trace sand. | | | UU | 0.20 | 0 | 30 | 55 | 1.66 | 2.60 | 1.43 | 11 |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Clay, grey, inorganic, some silt, some sand, contains crushed shells, very soft. | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Clay, grey, inorganic, some silt, trace sand, very soft. | | | UU | 0.08 | 0 | 38 | 60 | 1.47 | 2.61 | 2.43 | 11 |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Clay, grey, inorganic, some silt, some sand, contains crushed shells, medium. | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Clay, brown, inorganic, some silt, little sand, medium. | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Clay, grey, inorganic, some silt, little sand, stiff. | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | |
| 20 | Clay and sand, grey, inorganic, some silt, very stiff to hard. | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | |
| 27 | Clay, grey, inorganic, some silt, trace sand, stiff to very stiff. | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | End of boring | | | | | | | | | | | |

0 to 10 % = Trace
10 to 20 % = Little
20 to 35 % = Some
35 to 50 % = Much

☒ = Thin Veined
☒ = SPT
C = Cohesion (kN/m²)
φ = Internal Friction Angle (deg)

UU = Unconsolidated undrained
CU = Consolidated undrained
CD = Consolidated drained
SPT = Standard Penetration Test (blows/ft)
qc = Unconfined compression strength (kN/m²)

C = Water Content, %
Wp = Plastic Limit, %
WL = Liquid Limit, %
γ = Bulk Density (ton/m³)
Gs = Specific Gravity
e = Void Ratio

Design and Manufacturing Reference

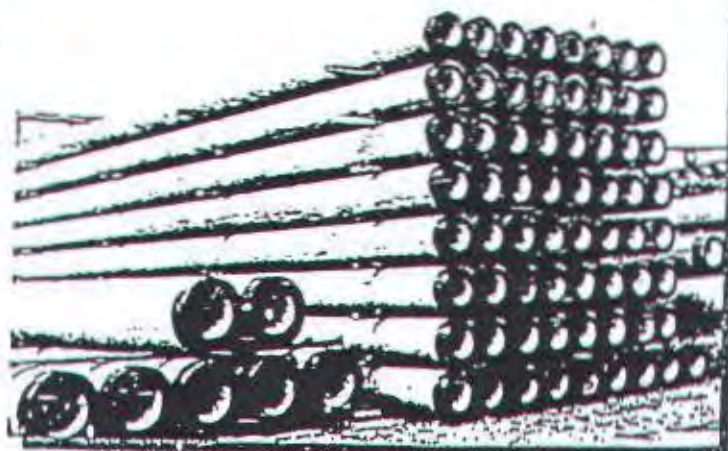
| Item | Reference | Description |
|---------------|------------------------------------|---|
| Design | JIS A 5335 - 1985 | Prestressed Spun Concrete Piles |
| | ACI 543R-74/ 1980 | Recommendation for Design, Manufactured and Installation of Concrete Piles |
| | NI 2 PBI - 1971 | Indonesian Concrete Codes |
| Manufacturing | JIS A 5335 - 1985 WKA-11-IK-007 | Prestressed Spun Concrete Piles Piles Manufacturing Works Instruction |

Specification of Material

| Item | Reference | Description | Specification |
|-------------|---------------------|---|---|
| Aggregate | ASTM C33 - 1985 | Standard specification for Concrete Aggregates | |
| | NI 2 PBI - 1971 | Indonesian Concrete Codes | |
| Cement | SII 0013 - 1981 | Quality and testing method of Portland cements | Standard Product type I Special order: type-II or V |
| Admixture | ASTM C494 - 1985 | Standard specification for chemical admixture for concrete | Type-A; water reducing admixtures |
| Concrete | JIS A 1132 - 1985 | Method of Making and Curing Concrete Specimens | |
| | JIS A 1108 - 1985 | Method of Test Compressive Strength of Concrete | |
| | NI 2 - PBI - 1971 | Indonesian Concrete Codes | Compressive Strength at 28 days : 600 kgf/ cm ² |
| PC Wire | JIS G 3536 - 1985 | Uncoated Stress-Relieved Steel Wire and Strand for Prestressed Concrete | SWPD1 |
| Spiral Wire | JIS A 3532 - 1985 | Low Carbon Steel Wire | SWMA |
| Joint Plate | JIS G 3101 - 1987 | Rolled steel for general structure | SS 41 |
| Welding | ANSI/ AWS D1.1-1990 | Structural Welding Code-Steel | AWS A 5.1/ E 6013 NIKKO STEEL RB26/ RD 260, UON-26, or Equivalen |

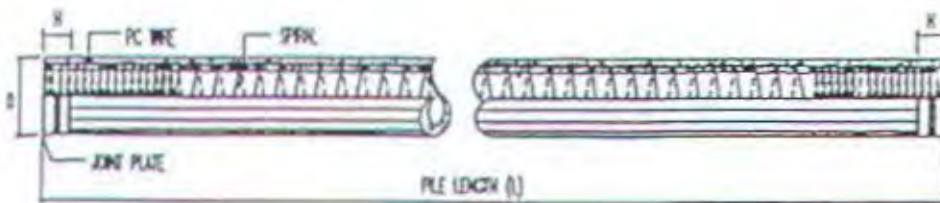
| Outside Diameter (mm) | Wall Thickness (mm) | Class | Concrete Cross Section (cm ²) | Section Modulus (cm ³) | Bending Moment Capacity (tf.m) | | Allowable Axial Load (tf) |
|-----------------------|---------------------|-------|---|------------------------------------|--------------------------------|----------|---------------------------|
| | | | | | Crack | Ultimate | |
| 300 | 60 | A2 | 452 | 2368,70 | 2,50 | | 72,60 |
| | | A3 | | 2389,60 | 3,00 | | 70,75 |
| | | B | | 2431,40 | 3,50 | | 67,50 |
| | | C | | 2478,70 | 4,00 | | 65,40 |
| 350 | 65 | A1 | 582 | 3646,00 | 3,50 | | 93,10 |
| | | A2 | | 3693,90 | 4,20 | | 89,50 |
| | | B | | 3741,70 | 5,00 | | 86,40 |
| | | C | | 3787,60 | 6,00 | | 85,00 |
| 400 | 75 | A2 | 765 | 5483,50 | 5,50 | | 121,10 |
| | | A3 | | 5537,40 | 6,50 | | 117,60 |
| | | B | | 5591,30 | 7,50 | | 114,40 |
| | | C | | 5678,20 | 9,00 | | 111,50 |
| 450 | 80 | A1 | 929 | 7591,60 | 7,50 | | 149,50 |
| | | A2 | | 7655,60 | 8,50 | | 145,80 |
| | | A3 | | 7717,10 | 10,00 | | 143,80 |
| | | B | | 7783,80 | 11,50 | | 139,10 |
| 500 | 90 | C | | 7929,00 | 12,50 | | 134,90 |
| | | A1 | 1159 | 10505,00 | 10,50 | | 185,30 |
| | | A2 | | 10579,30 | 12,50 | | 181,70 |
| | | A3 | | 10653,50 | 14,00 | | 178,20 |
| 600 | 100 | B | | 10727,80 | 15,00 | | 174,90 |
| | | C | | 10944,60 | 17,00 | | 169,00 |
| | | A1 | 1570 | 17482,80 | 17,00 | | 252,70 |
| | | A2 | | 17577,70 | 19,00 | | 249,00 |
| | | A3 | | 17792,70 | 22,00 | | 243,20 |
| | | B | | 17949,60 | 25,00 | | 238,30 |
| | | C | | 18263,40 | 29,00 | | 229,50 |

- Notes:
- 1) Pile are generally comply to JS A 5335 - 1985 and modified to suit to AISI 543 - 1979, BICE and PSI - 1971.
 - 2) Specified concrete cube compressive strength is 600 kg/cm² at 28 days.
 - 3) Allowable axial load is applicable to pile acting as a short strut.



PC PILES

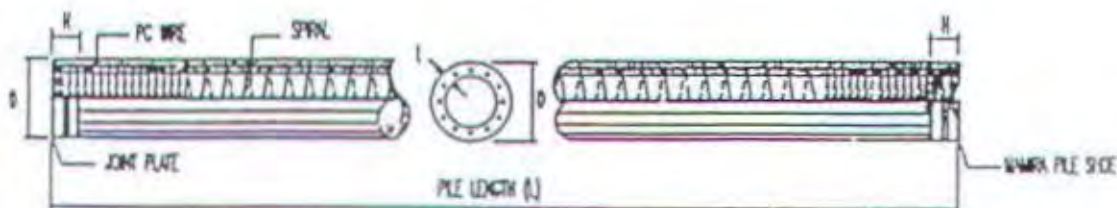
PT WIJAYA KARYA BETON



MIDDLE PILE

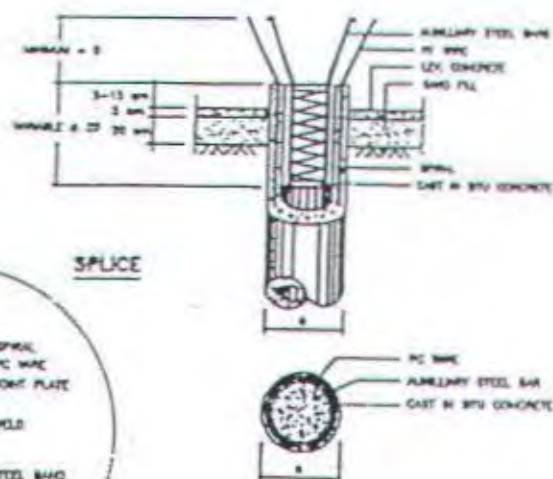
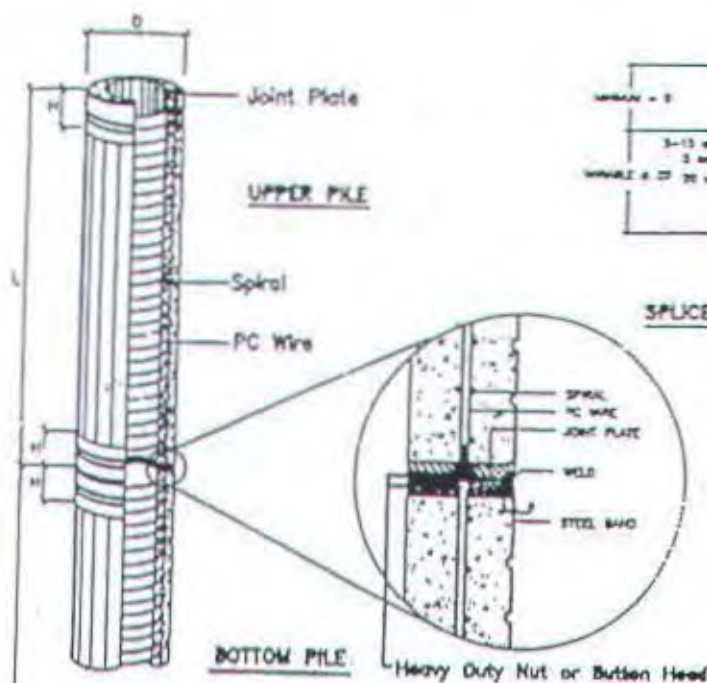


BOTTOM PILE (PENCIL SHOE)
(STANDARD PRODUCT)

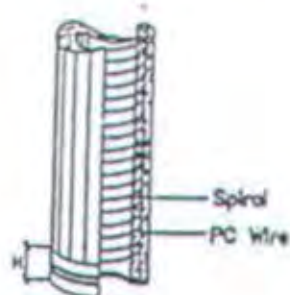
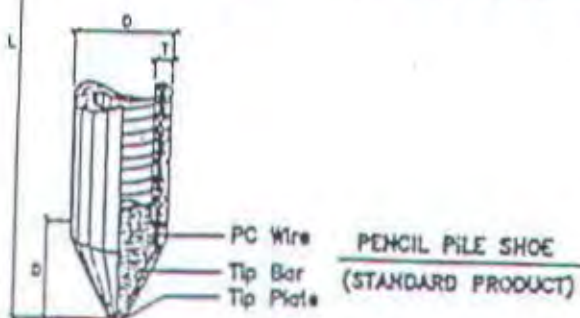


BOTTOM PILE (MAMIRA SHOE)
(SPECIAL DESIGN)

| Outside Diameter (D-mm) | Wall Thickness (T-mm) | Length of ¹⁾ Single Pile (L-m) | Steel Band ²⁾ Length (H-mm) | Pencil Shoe Length (D-mm) | Unit Weight ³⁾ (W - kg/m) |
|-------------------------|-----------------------|---|--|---------------------------|--------------------------------------|
| 300 | 60 | 6 - 13 | 100 | 300 | 110 |
| 350 | 65 | 6 - 15 | 100 | 350 | 140 |
| 400 | 75 | 6 - 16 | 150 | 400 | 200 |
| 450 | 80 | 6 - 16 | 150 | 450 | 240 |
| 500 | 90 | 6 - 16 | 150 | 500 | 300 |
| 600 | 100 | 6 - 16 | 150 | 600 | 400 |



PILE CAP CONNECTION DETAIL



Mamira Pile Shoe
(Special design)

Thickness
of Weld

| D (mm) | T (mm) | H (mm) | a (mm) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 300 | 60 | 100 | 8 |
| 350 | 65 | 100 | 10 |
| 400 | 75 | 150 | 10 |
| 450 | 80 | 150 | 10 |
| 500 | 90 | 150 | 10 |
| 600 | 100 | 150 | 10 |

INTERACTION DIAGRAM OF BENDING MOMENT & AXIAL LOAD CAPACITY

